



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

NÁVRH ÚPRAVNY VODY Z POVRCHOVÉHO ZDROJE

DESIGN OF WATER TREATMENT PLANT FROM SURFACE SOURCE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Inwald

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RENATA BIELA, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Petr Inwald
Název	Návrh úpravny vody z povrchového zdroje
Vedoucí práce	Ing. Renata Biela, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] CRITTENDEN, John, et al. Water Treatment: Principles and Design. 2nd Edition. John Wiley and Sons, 2005. 1948 p. ISBN 0-471-11018-3.
- [2] BIELA, R., BERÁNEK, J. Úprava vody a balneotechnika. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 164 s. ISBN 80-214-2563-6.
- [3] TUHOVČÁK, Ladislav, et al. Vodárenství: Studijní opory. 1. vydání. Brno: VUT FAST, 2006. 252 s.
- [4] GRÜNWALD, Alexander. Zdravotně inženýrské stavby 40: Úprava vody. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. 103 s. ISBN 80-01-01658-7.
- [5] HLAVÁČ, Jaroslav et al. Vodárenství - Jímání a úprava vody, procesy, výpočty, konstrukce. Multimediální učebnice. 1. vydání. Brno: VAS, a.s., 2003.
- [6] Odborné časopisy (Sovak, Vodní hospodářství)

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci bakalářské práce bude proveden návrh dvoustupňové úpravny vody z povrchového zdroje se zadaným výkonem. Součástí práce bude krátká rešerše k dané problematice, technická zpráva, hydrotechnické výpočty hlavních technologických prvků úpravny vody, technologické schéma úpravny a grafické přílohy hlavních technologických zařízení.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

- 1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
- 2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Renata Biela, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

V úvodu se bakalářská práce obecně věnuje zdrojům vody a úpravě vody. Dále jsou podrobněji popsány možnosti dvoustupňové úpravy vody z povrchového zdroje včetně jednotlivých zařízení, které se v současnosti v úpravárenství používají. Další částí bakalářské práce je praktická část, kde jsou navrženy hlavní technologické prvky úpravy, a to dvě obdélníkové usazovací nádrže s horizontálním průtokem a tři otevřené evropské rychlofiltry pro zadaný návrhový průtok $Q = 40 \text{ l/s}$. Součástí práce je také výkresová dokumentace obou vypočtených zařízení a výkres technologického schématu úpravy vody, jenž popisuje celkové uspořádání jednotlivých zařízení na úpravně.

KLÍČOVÁ SLOVA

dvoustupňová úprava vody, povrchový zdroj vody, usazovací nádrž, otevřený evropský rychlofiltr, návrh úpravy vody

ABSTRACT

In the beginning, the thesis deals with water sources and water treatment in general. The following describes in more detail the possibilities of two-stage treatment of water from a surface source, including individual devices that are currently used in water treatment industry. Next part of the thesis is a practical part where the main technological elements of the treatment plant are designed, namely two rectangular settling tanks with horizontal flow and three open european rapid filters for the specified design flow $Q = 40 \text{ l/s}$. The work also includes the drawing documentation of both calculated devices and a drawing of the technological scheme of the water treatment plant, which describes the overall arrangement of the individual facilities at the water treatment plant.

KEY WORDS

two-stage water treatment, surface water source, settling tank, open european rapid filter, design of water treatment plant

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Petr Inwald *Návrh úpravny vody z povrchového zdroje*. Brno, 2019. 54 s., 5 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Návrh úpravny vody z povrchového zdroje* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 17. 5. 2019

Petr Inwald
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh úpravny vody z povrchového zdroje* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 17. 5. 2019

Petr Inwald
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Zde bych rád poděkoval za odborné rady, dohled a vstřícnost vedoucí mé bakalářské práce
Ing. Renatě Biele, Ph.D.

OBSAH

1	ÚVOD.....	3
2	ZDROJE VODY	4
2.1	Podzemní zdroje.....	4
2.2	Povrchové zdroje.....	4
3	ÚPRAVA VODY	6
3.1	Typy úpraven vody	7
3.1.1	Jednoduchá úprava vody bez separačního stupně	7
3.1.2	Úprava vody s jednostupňovou separací.....	8
3.1.3	Úprava vody s dvoustupňovou separací.....	8
3.1.4	Úprava vody s vícestupňovou separací	9
4	DVOUSTUPŇOVÁ ÚPRAVA VODY Z POVRCHOVÉHO ZDROJE.....	10
4.1	Mechanické předčištění	10
4.1.1	Česle	10
4.1.2	Mikrosíta.....	10
4.1.3	Lapáky písku.....	10
4.2	Koagulace	11
4.2.1	Koagulanty.....	11
4.2.2	Perikinetická fáze koagulace.....	13
4.2.3	Ortokinetická fáze koagulace.....	14
4.3	Možnosti prvního separačního stupně	15
4.3.1	Usazovací nádrže	15
4.3.2	Čiřiče	19
4.3.3	Flotace	23
4.4	Možnosti druhého separačního stupně.....	26
4.4.1	Filtrace	26
4.5	Desinfekce	31
4.5.1	Desinfekce chlorem a jeho sloučeninami.....	31
4.5.2	Desinfekce UV zářením.....	32
4.5.3	Desinfekce ozónem.....	32
4.6	Kalové hospodářství.....	32
4.6.1	Zahušťování vodárenských kalů	33
4.6.2	Odvodňování vodárenských kalů.....	33
5	NÁVRH HLAVNÍCH TECHNOLOGICKÝCH PRVKŮ DVOUSTUPŇOVÉ ÚPRAVNÝ VODY	35
5.1	Návrh podélné usazovací nádrže	35
5.2	Návrh otevřeného evropského rychlofiltru	37

6	TECHNICKÁ ZPRÁVA	39
6.1	Objekty před prvním separačním stupněm.....	39
6.2	Návrh prvního separačního stupně	39
6.3	Návrh druhého separačního stupně	39
6.4	Ostatní zařízení	40
7	ZÁVĚR	41
8	POUŽITÁ LITERATURA.....	42
	SEZNAM TABULEK	43
	SEZNAM OBRÁZKŮ	44
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	45
	SEZNAM PŘÍLOH	46
	SUMMARY	47

1 ÚVOD

Voda je nejdůležitější látkou na Zemi. Díky vodě vznikl život a rozvinul se až do podoby, v jaké ho známe dnes. Její dostatek je základní potřebou všech organismů a s její pomocí vznikl civilizovaný svět. Růst civilizace ale způsobil i stále se zvyšující nároky na množství a kvalitu vody a následně na znečištění odpadní vody, což ovlivnilo kvalitu vody v recipientu. Rozvoj také způsobil, že se do odpadní vody dostávala stále nová znečištění, se kterými si životní prostředí nedokázalo poradit, a tak bylo nevyhnutelné zavedení systému úpravy surové vody na vodu pitnou, její distribuci ke spotřebiteli a čištění odpadní vody před vypuštěním zpět do vodních toků. V současnosti si bez takového systému nedokážeme život představit. To ukazuje, jak je vodárenství důležité pro moderní společnost a životní úroveň obyvatelstva.

Vodu, kterou odebíráme z přírodního prostředí k úpravě, nazýváme vodou surovou a voda po jakékoliv úpravě je voda upravená. Surovou vodu odebíráme z povrchových a podzemních zdrojů. Podle prostředí, ze kterého je voda získávána, přebírá chemické i fyzikální vlastnosti, k nimž musíme přihlížet a zohlednit je při návrhu konkrétního systému úpravy vody. Mezi povrchové zdroje vody patří voda tekoucí (voda odebíraná z vodních toků) a voda stojatá (voda odebíraná z jezer, rybníků a údolních nádrží). Typ podzemní vody závisí na geologickém prostředí, z něž je voda čerpána.

V současnosti se snažíme změnit koncepci využívání vody tak, abychom co nejvíce s vodou šetřili a zbytečně s ní neplýtvali. Je to z důvodů pravidelného zvyšování ceny vody a nedostatku vody v přírodních zdrojích, který je způsoben dlouhotrvajícím suchým obdobím na našem území. Mezi takové změny patří například tlak na znovuvyužití málo znečištěných odpadních vod z domácností nebo zachycení a využití dešťové vody, což je pro vodárenství krok kupředu k minimalizaci plýtvání vodou i financemi.

2 ZDROJE VODY

2.1 PODZEMNÍ ZDROJE

Podzemní zdroje se nacházejí pod zemským povrchem a ve většině případů závisí jejich vydatnost na množství dešťové vody, která se vsákne do povrchu a dostane se až na úroveň hladiny podzemní vody. Voda zde vyplňuje mezery mezi jednotlivými zrny, popřípadě pukliny v horninách.

Většina zvodnělých vrstev je tvořena nekonsolidovanými nebo zčásti konsolidovanými štěrky a písky. Mocnost těchto vrstev je různá, řádově od jednotek až po desítky metrů. Zvodnělé vrstvy jsou v podstatě podpovrchové zásobní nádrže vespod ohraničené nepropustnou vrstvou, které jsou doplňovány vodou z dešťových nebo sněhových srážek. Zvodnělé vrstvy je možné rozdělit na vrstvy s volnou a napjatou hladinou. Vrstvy s napjatou hladinou jsou shora ohraničeny nepropustnou vrstvou, zatímco pro vrstvy s volnou hladinou je horní hranicí jejich hladina.

Obecně jsou podzemní zdroje vhodnější než povrchové, protože jsou chráněny před znečištěním vrstvou zeminy, která funguje částečně jako filtr. Často je lze využít přímo nebo s minimální úpravou jako pitnou vodu.

Podzemní vody obvykle obsahují vyšší koncentrace oxidu uhličitého, který se do ní dostává biologickým rozkladem organických látek v zemině nebo chemickým účinkem vody na uhličitánové materiály. Dalšími obsaženými látkami jsou často hydrogenuhlíčitany, sírany, vápník, hořčík, sodík a chloridy. Jsou v nich nízké nebo nulové koncentrace organických látek a kyslíku, často bývají podzemní vody anoxické. Voda odebírána z malé hloubky často obsahuje vyšší koncentrace dusičnanů, voda z hlubších zdrojů obsahuje vyšší koncentrace kovů, především železa a manganu, a mohou se objevit i vody s vyšším obsahem radonu. Většina vlastností závisí na okolním prostředí a hloubce, ze které je voda jímána. Teplota podzemní vody se pohybuje od 5 do 13 °C a je stálá, protože ji zpravidla neovlivňují klimatické podmínky. Podzemní vody mají pH 5,5 – 7,5. [1][3]

2.2 POVRCHOVÉ ZDROJE

Pokud nemáme dostatečně vydatné zdroje podzemní vody, využíváme povrchových zdrojů, které mají nižší a proměnlivou kvalitu například v závislosti na ročním období. Při odběru z těchto zdrojů je nutno zajistit minimální průtoky vody.

Povrchové vody obsahují velké množství různých chemických a organických látek, ale nízké koncentrace oxidu uhličitého. Dále obsahují vysoké koncentrace rozpuštěného kyslíku, které jsou závislé na teplotě, obsahu biologicky rozložitelných látek a na fotosyntéze probíhající ve zdroji vody. Je to jeden ze základních ukazatelů kvality povrchové vody. U povrchových vod je teplota závislá na teplotách vzduchu a pH 6 – 8,5. Při úpravě povrchových zdrojů se kvůli vyššímu znečištění využívají vícestupňové úpravy vody. [1]

Podle přílohy č. 13 k vyhlášce 428/2001 Sb. dělíme surovou vodu do tří skupin upravitelnosti – viz tab. 2.1

Tab. 2.1 Kategorie upravitelnosti surové vody [13]

Kategorie	Upravitelnost
A1	Úprava surové vody s případnou dezinfekcí pro odstranění sloučenin a prvků, vliv na její další použití, a to zvláště snížení agresivity vůči materiálům rozvodného systému, které mohou mít včetně domovních instalací (chemické nebo mechanické odkyselení), dále odstranění pachu a plynných složek provzdušňováním. Prostá filtrace pro odstranění nerozpuštěných látek a zvýšení jakosti.
A2	Surová voda vyžaduje jednodušší úpravu, např. koagulační filtraci, jednostupňové odželezování, odmanganování nebo infiltraci, pomalou biologickou filtraci, úpravu v horninovém prostředí, a to vše s koncovou dezinfekcí. Pro zlepšení vlastností je vhodná stabilizace vody.
A3	Úprava surové vody vyžaduje dvou, či vícestupňovou úpravu čiřením, oxidací, odželezováním a odmanganováním s koncovou dezinfekcí, popř. jejich kombinací. Dalšími vhodnými procesy jsou například využívání ozónu, aktivního uhlí, pomocných flokulantů, flotace. Ekonomicky náročnější postupy technicky zdůvodněné (například sorpce na speciálních materiálech, iontová výměna, membránové postupy) se použijí mimořádně.

Podle § 13 odst. 2 zákona lze vodu s koncentracemi vyššími, než jsou uvedeny pro kategorii A3, výjimečně odebírat pro výrobu pitné vody s udělením výjimky příslušným krajským úřadem. Pro úpravu na vodu pitnou se musí použít technologicky náročné postupy spočívající v kombinaci typů úprav uvedených pro kategorii A3, přičemž je nutné zajistit stabilní kvalitu vyráběné pitné vody podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. Přednostním řešením v těchto případech je však eliminace příčin znečištění anebo vyhledání nového zdroje vody. [1]

3 ÚPRAVA VODY

Úpravou vody se snažíme zlepšit kvalitu vody na požadovanou úroveň (snížení faktorů znečištění na povolené limity). Pro pitnou vodu se řídíme limity uvedenými ve vyhlášce č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.

Mezi základní principy úpravy vody patří úprava fyzikálními procesy, chemickými procesy, biologickými a mikrobiologickými procesy. Při volbě typu úpravy se zaměřujeme na kvalitu a vlastnosti surové vody, pro kterou úpravu navrhujeme. Často dochází ke kombinaci způsobů úpravy, protože surová voda obsahuje mnoho znečišťujících látek, pro které jsou vhodné různé způsoby úpravy.

Mezi fyzikální procesy patří[1]:

- adsorpce vody,
- prostá (mechanická) filtrace vody,
- prostá sedimentace vody,
- prostá flotace vody,
- mechanické provzdušnění vody,
- hrubé či jemné odlučování nečistot (česle),
- cezení vody.

Mezi chemické procesy patří:

- koagulace po nadávkování chemikálií,
- flokulace po nadávkování chemikálií,
- flotace nadávkované vody,
- čiření nadávkované vody sedimentace nadávkované vody,
- koagulační filtrace nadávkované vody,
- filtrace nadávkované vody,
- chemické odželezování a odmanganování vody,
- chemické odkyselení vody,
- chemické zušlechťování vody,
- dezinfekce vody,
- iontová výměna.

Mezi biologické a mikrobiologické procesy patří:

- likvidace producentů konzumenty (děje v přírodním prostředí mimo úpravnu vody),
- likvidace organických a anorganických znečištění působením mikroorganismů rostlinného a živočišného původu, což jsou aerobní mikroorganismy a řasy, které odstraňují organické znečištění, nežádoucí mikroby a coliformní zárodky. Dochází k mineralizaci organického znečištění.

3.1 TYPY ÚPRAVEN VODY

Rozhodujícím faktorem pro výběr typu úpravy vody je kvalita surové vody a účel, pro který je voda upravována. Rozlišujeme čtyři typy úpraven vody podle rozsahu prováděné úpravy:

- jednoduchá úprava vody bez separačního stupně,
- úprava vody s jednostupňovou separací,
- úprava vody s dvoustupňovou separací,
- úprava vody s vícestupňovou separací případně s doupravou vody bez použití třetího stupně separace.

O počtu separačních stupňů rozhodujeme podle těchto kritérií:

- u podzemních vod jde o součet množství železa a manganu v surové vodě. Pro jednostupňovou úpravu: $\Sigma \text{Fe} + \text{Mn} < 5 \text{ mg.l}^{-1}$, jinak je úprava vícestupňová,
- u povrchových vod podle množství nadávkovaného koagulantu, pro jednostupňovou úpravu $< 20 - 25 \text{ mg.l}^{-1}$. [1]

3.1.1 Jednoduchá úprava vody bez separačního stupně

Jednoduchá úprava se využívá u zdrojů, které jsou znečištěny pouze minimálně a není u nich potřeba separovat z vody produkty znečištění. Jednoduchou úpravu využíváme především u podzemních vod, ve kterých je minimální obsah organických látek i dvojmocného železa a manganu. Tímto způsobem upravovaná surová voda musí také obsahovat příhodné množství aniontů, které odpovídá požadavkům na upravenou vodu.

K těmto úpravám se využívá mechanické provzdušnění vody neboli aerace. Aerace slouží k odstranění nevhodných pachů a chutí z vody. Slouží k odstranění například volného oxidu uhličitého, sirovodíku, bahenního plynu, metanu. Provzdušnění navrhujeme i pro vody, u kterých je potřebná oxidace z důvodu nedostatku kyslíku, jenž má vliv na organoleptické vlastnosti vody jako jsou pach a chuť a může mít nepříznivé účinky na materiály dopravních potrubí nebo spotřebičů. Nejčastějším důvodem volby tohoto systému je odstranění oxidu uhličitého, a proto se v praxi tyto úpravy nazývají úpravami odkyselovacími.

3.1.2 Úprava vody s jednostupňovou separací

Tyto úpravny mají v technologické lince jeden separační stupeň, kterým je vždy filtrace:

- pomalá biologická,
- mechanická prostá s filtrovanou vodou bez přidaného koagulantu,
- koagulační s aplikací koagulantu.

U těchto úprav je ve většině případů nutno provést předúpravu a doúpravu vody. Ta se liší podle toho, jestli je zdrojem voda povrchová nebo podzemní.

Pokud je zdrojem povrchová voda, tak předúprava zahrnuje koagulaci a flokulaci. Dalším krokem této úpravy je separace pomocí koagulační filtrace. Pro doúpravu může být provedena alkalizace vody pro úpravu pH a desinfekce upravené vody.

Pokud je zdrojem podzemní voda, tak je předúpravou zpravidla aerace vody pro oxidaci dvojmocného železa a manganu do separovatelných částic. Pro zrychlení tvorby separovatelných částic je možné využít dávkování chemikálií s následnou flokulací. Jako předúprava může být též dávkováno alkalizační činidlo pro zvýšení pH a zlepšení prostředí pro separaci manganu v separačním stupni. Doúpravou může být zušlechťování vody a vždy se provádí desinfekce upravené vody. [1][3]

3.1.3 Úprava vody s dvoustupňovou separací

Pokud jsou v surové vodě vyšší koncentrace znečištění suspendovanými, koloidními nebo rozpuštěnými látkami ve vodě a při vyšších dávkách koagulantu, je nutno tyto látky z vody odstranit na dvou separačních stupních. Druhým separačním stupněm je pro úpravu na pitnou vodu vždy filtrace.

Jako první separační stupeň se používají [1]:

- mikrofiltry,
- filtry (dvoustupňová filtrace),
- sedimentační nádrže různého typu a různého konstrukčního řešení,
- čířiče s vločkovým mrakem,
- flotace.

Volba předúpravy závisí na míře znečištění surové vody a doúprava se volí stejně jako u jednostupňové úpravy.

Dvoustupňovou úpravou se bude tato práce zabývat v další kapitole, kde bude popsána podrobněji.

3.1.4 Úprava vody s vícestupňovou separací

Třístupňová úprava vody se využívá pro úpravu velmi znečištěných vod nebo při vysokých požadavcích na kvalitu upravené vody. Jedná se o úpravu s více separačními stupni nebo dvojstupňovou úpravu s následnou doúpravou vody bez separace (např. ozonizací či provzdušněním), která v těchto systémech nahrazuje třetí separační stupeň.

Příklady třístupňových separací[1]:

pro podzemní vody

- 1. separační stupeň – sedimentace,
- 2. separační stupeň – odželezovací filtry,
- 3. separační stupeň – odmanganovací filtry,

pro povrchové vody

- 1. separační stupeň – sedimentace, čířič nebo flotace,
- 2. separační stupeň – písková filtrace,
- 3. separační stupeň – filtrace s aktivním uhlím,

nebo

- 1. separační stupeň – sedimentace, čířič nebo flotace,
- 2. separační stupeň – písková filtrace,
- 3. separační stupeň – pomalá biologická filtrace.

4 DVOUSTUPŇOVÁ ÚPRAVA VODY Z POVRCHOVÉHO ZDROJE

4.1 MECHANICKÉ PŘEDČIŠTĚNÍ

Mechanické předčištění slouží k odstranění hrubších částic (plovoucí, hrubě suspendované nebo sunuté u dna) vyskytujících se v surové vodě. Velmi často je umístěno v jímacím objektu nebo bezprostředně za ním. Hlavním důvodem, proč osazujeme mechanické předčištění na začátek technologické linky, je ochrana následujících technologických zařízení před poškozením (čerpadla, potrubí).

4.1.1 Česle

Česle slouží k odstranění větších unášených nebo plovoucích částic (listí, větve). Skládají se z ocelových tyčí (česlic), které jsou obvykle v rámu osazeny do betonu ve sklonu 60 – 75°. Česlice jsou z oceli, nerez oceli nebo plastu a mají nejčastěji kruhový nebo obdélníkový průřez. Podle světlosti mezi česlicemi se dělí na:

- hrubé česle – 50 – 150 mm,
- střední česle – 20 – 50 mm,
- jemné česle – 1 – 20 mm.

U povrchových zdrojů se zpravidla umísťují hrubé a jemné česle těsně za sebou. Dále se česle dělí podle způsobu odstranění shrabků na česle s ručním, strojním nebo samočisticím shrabováním. [2][4]

4.1.2 Mikrosíta

Mikrosíta jsou obvykle tvořena z jemného pletiva, které tvoří povrch bubnu. Voda do bubnu přitéká jednou otevřenou stranou. Buben při práci rotuje a voda vytéká jeho povrchem. Buben bývá do 75% profilu ponořen pod vodou a síto je nepřetržitě čištěno tlakovou vodou. Otvory v sítu mají velikost 10 – 60 μm a účinnost zachycení látek se pohybuje mezi 30 a 60%. [1][4]

4.1.3 Lapáky písku

V povrchových vodách se nachází hrubozrnné anorganické látky (např. písek, hlína), které mohou negativně ovlivňovat funkci strojního vybavení nebo se usazovat v objektech. Pro odstranění těchto částic se používají lapáky písku.

Lapáky slouží k zachycení sunutých částic u dna o velikosti zrn 0,1 – 0,25mm. Tyto objekty fungují na principu snížení rychlosti nebo změny směru proudění vody tak, aby se zrna usadila na dně lapáku. Snížení rychlosti dosahujeme prohloubením dna. Podle směru průtoku rozlišujeme dva základní typy lapáků: [1]

- Horizontální – usazovací žlab, který je u vstupu snížen pod úhlem 30°, a na výstupu se zvedá ve sklonu 60°. Délka usazovacího žlabu je taková, aby se i zrno o nejmenší velikosti, které v daném lapáku chceme separovat, usadilo ke dnu na konci lapáku.
- Vertikální – čtvercový nebo kruhový půdorys. Voda natéká do horní části, obtéká nornou stěnu a vyteče opět v horní části na druhé straně průřezu. Písek se shromažďuje u dna a je odstraňován drapákem nebo mamutkou.

4.2 KOAGULACE

Koagulace patří mezi chemické metody, protože k její funkci je nutno dávkovat chemické látky, které v upravované vodě způsobí srážení a následné shlukování koloidních a rozpuštěných látek obsažených ve vodě. Tyto shluky částic jsou následně upravitelné separačními procesy v úpravě vody.

Průběh koagulace, která proběhne po vlastním nadávkování koagulantů a jejich promíchání s vodou a která je způsobena hydrolyzou koagulantu, lze rozdělit do dvou fází:

- perikinetická (rychlé míchání),
- ortokinetická (pomalé míchání).

4.2.1 Koagulanty

Chemické látky přidávané při koagulačním procesu se nazývají koagulanty. Jsou to převážně soli železa a hliníku. O volbě konkrétního koagulantu rozhodují vždy laboratorní pokusy, ideálně pokusy poloprovozní. Velikost dávky koagulantu je závislá na znečištění upravované vody, přičemž se z ekonomických důvodů snažíme dávkovat co nejméně koagulantu a zároveň zajistit požadovanou jakost vyčištěné vody. Dávka koagulantu roste se znečištěním upravované vody. Pokud není přídatkem koagulantu dosaženo požadovaného pH, tak se pH upraví pomocí kyseliny sírové nebo hydroxidu vápenatého, popř. vyšší dávkou koagulantu, který reaguje kyselé a snižuje tedy pH. Množství dávkovaného koagulantu závisí na obsahu kovu (Al, Fe), který tvoří příslušný hydroxid. Pro předběžné stanovení dávky koagulantu slouží hodnoty CHSK_{Cr} nebo barvy vody. Dávka železitě nebo hlinité soli (koagulantu) $D[\text{mmol.l}^{-1} \text{Fe}^{3+} \text{ nebo } \text{Al}^{3+}] =$

- $(0,3 - 0,4) \cdot \text{CHSK}_{\text{Cr}}$ (CHSK_{Cr} v mg/l)
- $(2,5 - 3) \cdot \sqrt{B}$ (B je barva v mg/l platiny)

Přesná dávka koagulantu se stanovuje experimentálně pomocí koagulační zkoušky. Optimální je nejmenší dávka, při které dosáhneme požadované kvality vody. Pro málo znečištěné povrchové vody bývají dávky koagulantu přibližně $0,15 - 0,3 \text{ mmol.l}^{-1}$ (Fe^{3+} nebo Al^{3+}) a pro znečištěné zhruba dvojnásobek. [1][3]

Koagulanty jsou do vody dávkovány ze zásobníků buď v suchém stavu (jako pevná látka) nebo za mokra (ve formě roztoku). K samotnému dávkování slouží automatické dávkovače. Suché dávkovače pracují na principu objemovém nebo váhovém a roztoky se dávkuje nejčastěji pomocí pístových čerpadel s regulovatelnou výškou zdvihu pístu nebo s plovákovou regulací.

Používané soli železa:

- síran železitý $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ – dávka $10 - 250 \text{ g/m}^3$,
- chlorid železitý $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – dávka $5 - 150 \text{ g/m}^3$,
- chlorovaný síran železnatý FeClSO_4 – dávka $5 - 150 \text{ g/m}^3$,
- síran železnatý $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ v dávce $5 - 150 \text{ g/m}^3$.

Nejčastěji používané jsou síran železitý a chlorid železitý. Soli železa jsou častěji používány pro dvoustupňovou úpravu s větším obsahem suspendovaných látek, tedy pro vodu z povrchových zdrojů. [1][3][12]

Používané soli hliníku:

- síran hlinitý $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ – dávka $10 - 150 \text{ g/m}^3$,
- polualuminium chlorid (PAC).

Síran hlinitý se často kombinuje s hydroxidem vápenatým, protože velmi snižuje pH vody.

V případě potřeby se do vody také dávkuje tzv. pomocné koagulanty, které zvyšují intenzitu koagulace a flokulace. Dělí se na látky:

- anorganické:
 - aktivovaný oxid křemičitý,
 - bentonit, kaolín, jemně mletý vápenec, jemný křemičitý písek, práškové aktivní uhlí.
- organické:
 - organické ve vodě rozpustné látky přírodní chemicky neupravené,
 - organické látky ve vodě rozpustné chemicky upravené,
 - syntetické organické látky. [3]

4.2.2 Perikinetická fáze koagulace

V této fázi koagulace, která proběhne po nadávkování koagulantu, vznikají mikrovločky agregací koloidních částic pomocí Brownova pohybu. Dochází zde k rychlému míchání, při němž bývá gradient rychlosti G 100 – 1000 s^{-1} , a doba trvání je od několika sekund až po maximálně 300 sekund. Rychlé míchání v této fázi se zajišťuje pomocí hydraulického nebo mechanického míchání.[3]

Hydraulické rychlé míchání

Tento typ míchání se rozlišuje na:

- tlakové
 - clony – osazují se do potrubí a k míchání je u nich využita tlaková ztráta, která je vytvořena clonou. Tato metoda může být zefektivněna použitím více clon. Nevýhodou je nárůst hydraulické ztráty při ztrátách tlaku. Clona, která zacloní 40 – 50% profilu, většinou způsobí dostačující rozmíchání koagulantu,
 - proudové mísiče – válcová nádoba, do které přitéká voda tangenciálně pomocí trysek a koagulant je vháněn do osy mísiče. Na konci mísiče jsou přepážky usměrňující proudící kapalinu do výtoku z mísiče,
 - statorové mísiče – nejvíce používaný mísič pro hydraulické míchání. Je to vlastně vestavba uvnitř přírubové tvarovky, která mění ustálený proud vody do spirálovitého tvaru a promíchává tak přidávanou chemikálii s vodou. Patří mezi ně např. statický mísič Helax nebo mísič Statiflo,
 - prstencový vodní skok – dovnitř potrubí je vložena překážka, která je obtékána podél stěn zvýšenou rychlostí a za překážkou díky tomu vznikají velké turbulence a víry a v nich se chemikálie dokonale promísí s vodou.
- gravitační
 - s vertikálními šterbinami – pracují na principu vytvoření tlakové ztráty při průtoku vody šterbinou, za níž dochází k promísení vody s chemikálií. Tento způsob mísení zabírá velké prostory a jeho účinnost je nízká.
 - s horizontálními šterbinami – v současnosti se nevyužívá, vysoké náklady a nízká účinnost.

Mechanické rychlé míchání

Velmi často využívaná metoda, která nevyžaduje velké nádrže pro míchání. Osa míchadel je svislá a účinnost závisí především na velikosti a tvaru lopatek nebo vrtule a frekvenci otáček míchadla. Pro regulaci otáček míchadla se v současnosti používají frekvenční měniče. Hřídel míchadel bývá uložena buď na konci v patce, nebo volně v prostoru nádrže.

4.2.3 Ortokinetická fáze koagulace

V druhé fázi koagulace dochází k shlukování mikroskopických vloček ve větší, separovatelné makrovločky. Při pomalém míchání je rychlostní gradient pro železité koagulanty $G < 65 \text{ s}^{-1}$ a pro hlinité koagulanty $G < 25 \text{ s}^{-1}$, při překročení těchto hodnot může docházet k rozbíjení vzniklých vloček. Doba ortokinetického míchání je v průměru 10 – 30 minut. Čím je voda chladnější, tím je doba druhé fáze delší. Při návrhu se snažíme zajistit plynulý přechod mezi flokulací a prvním separačním stupněm, aby nedošlo k destabilizaci vločkovité suspenze a byla zajištěna co nejvyšší účinnost prvního separačního stupně. [1][3]

Hydraulické pomalé míchání

K tomuto typu míchání řadíme:

- žlaby a nádrže s horizontálním a vertikálním průtokem – v obou typech průtoku proudí voda přepážkami, mezi kterými dochází ke změně směru proudu o 180° , vznikají tím hydraulické ztráty a dochází k snížení rychlosti vody. Vlivem ztrát dochází k míchání vody,
- děrované stěny s normálními a nastavitelnými otvory – voda v těchto mísičích protéká otvory za vzniku ztrát. Časté je řazení několika takových stěn za sebe s postupně se snižujícími ztrátami na jednotlivých stěnách. Tyto změny ztrát se mění pomocí zvětšení/zmenšení protékaných otvorů,
- vertikální vířivé kuželové mísiče – voda přitéká do tohoto mísiče tangenciálně a spirálovitě krouží po obvodu kuželu, přičemž dochází ke snížení ztrát a mísení vody.

Mechanické pomalé míchání

K tomuto typu míchání řadíme:

- pádlová míchadla – v nádrži bývají osazena v řadě za sebou, čímž je zvýšen míchací efekt. Při tomto uspořádání musí docházet k poklesu gradientu rychlosti za sebou umístěných míchadel (snížení otáček). Materiálem je většinou ocel nebo nerez ocel, popř. tvrzený plast. Pádlová míchadla mohou být:
 - vertikální – vždy patkově uložené ve dně nádrže. Zpravidla jedno, dvě, maximálně tři míchadla na jedné ose,
 - horizontální – dělí se na horizontální podélné (horizontální osa ve směru průtoku nádrží) a příčné (osa míchadel příčně ke směru průtoku nádrží).
- hyperboloidní míchací systémy – míchadlo je umístěno u dna nádrže a je spojeno hřídelí s pohonem, který se nachází nad hladinou nádrže. Většina energie je vysílána rovnoběžně se dnem nádrže a vznikají zde radiální proudění. K vyvolání míchacího efektu tak stačí pouze 20 až 30 otáček za minutu. Výhodou tohoto typu je umístění pohonu nad hladinou nádrže, což umožňuje snadnější údržbu a provoz.

U těchto systémů je také vhodné to, že je míchadlo umístěno u dna, a tak je zabráněno sedimentaci a částice jsou neustále drženy ve vznosu rovnoměrně po celé nádrži. [12]

4.3 MOŽNOSTI PRVNÍHO SEPARAČNÍHO STUPNĚ

4.3.1 Usazovací nádrže

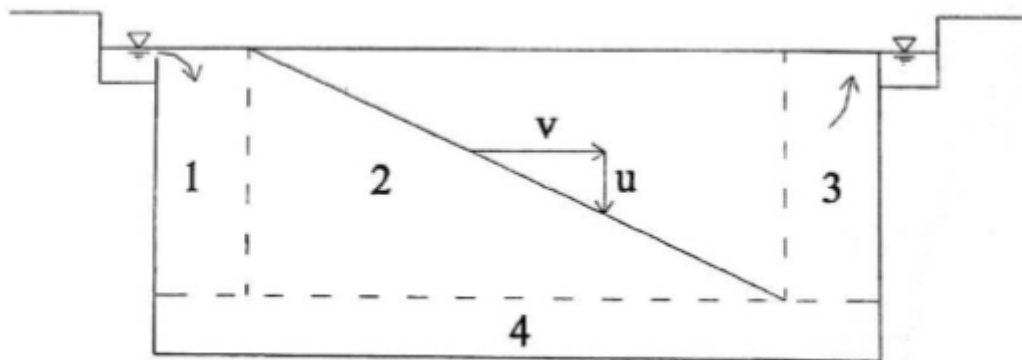
Sedimentace (usazování) je jednou z nejčastěji využívaných metod úpravy vody. Je to proces separace směsi tuhých přírodních látek a látek vzniklých při koagulaci. Separace probíhá pomocí gravitační síly, díky níž se tyto látky usazují u dna sedimentační nádrže. Jedná se o napodobení přírodní sedimentace částic na dnech vodních toků a nádrží. Při sedimentaci působí na částice tíha, vztlak a odpor prostředí. Tíha a vztlak jsou konstantní, ale odpor prostředí závisí na vlastnostech kapaliny (viskozitě, tíhovém zrychlení, tvaru a rozměrech částic). Usazovací nádrže rozdělujeme na:

- podélné obdélníkové usazovací nádrže s horizontálním průtokem,
- kruhové usazovací nádrže s radiálním horizontálním průtokem,
- kruhové usazovací nádrže s vertikálním průtokem,
- patrové a lamelové usazovací nádrže.

Vtokový objekt je navržen tak, aby nebylo narušeno laminární proudění v usazovacím prostoru nádrže. Odtokový žlab je u kruhových nádrží umístěn na obvodu nádrže a u pravoúhlých na konci nádrže. Kal je stírán ze dna pomocí mostových nebo řetězových shrabovačů. Nádrže jsou odkalovány v pravidelných intervalech nebo nepřetržitě. V případě nedostatečného odkalování může dojít k zhoršení kvality vody na odtoku v důsledku zahňívání kalu v nádrži. Nevhodné jevy při sedimentaci, kterým se snažíme vhodným návrhem zabránit, jsou zkratové proudy, turbulence a opětovné zvržení usazených částic. [6]

Podélné obdélníkové usazovací nádrže s horizontálním průtokem vody

Jsou nejčastěji navrhovaným sedimentačním zařízením při úpravě pitné vody. Výhodou těchto nádrží je jednoduchost stavební konstrukce i strojního vybavení. Nabízí také možnost vhodného řešení nátoky upravované vody do sedimentačního prostoru z flokulační nádrže. Jsou navrhovány pro průtočné rychlosti $v = 4 - 15 \text{ mm.s}^{-1}$. Většinou se navrhuje dvě nebo více nádrží se zdržením 1,5 – 2 hodiny pro odstranění přibližně 90 % usaditelných částic. Rozměry nádrže se volí podle vlastností separovaných částic. Hloubka 2 – 4 m, šířka maximálně 6 m, nebo se nádrž rozdělí podélnými stěnami. Snažíme se vhodnou volbou rozměrů docílit laminárního proudění v celém průřezu nádrže. Optimální poměr délky ku šířce je mezi 6:1 až 8:1 a šířky ku hloubce je 3:1 až 6:1. Dno má podélný sklon 1 – 2 % a příčný sklon směrem k podélné ose 1 – 4 %.[1]



Obr. 4.1 Podélná obdélníková usazovací nádrž [1]

Usazovací nádrže dělíme na 4 základní prostory:

1. vtokový prostor,
2. usazovací prostor,
3. výtokový prostor,
4. prostor usazeného kalu.

Vtok je důležité řešit tak, aby byl po celé šířce nádrže profil rovnoměrně zatížen a bylo dosaženo laminárního proudění. Kvůli tomu se navrhuje jeden vtok na každé 3 m šířky nádrže. Pro rovnoměrné zatížení více nádrží se používají rozdělovací objekty a rozvodné galerie.

Přítok z flokulační nádrže se provádí:

- žlabem s otvory, kterými vytéká voda zpět proti směru proudění a naráží do čelní stěny,
- svislou stěnou s otvory, proti nimž bývají umístěny nárážky, které slouží k navození rovnoměrného rozdělení průtoku a tlumení kinetické energie,
- česly, jenž sahají až ke dnu nádrže,
- svodidly ve dně.

Tyto prvky, které částečně zahradí průtočný profil, slouží k odstranění mrtvých bodů a turbulencí v nádrži. Rozměr průtočných otvorů ve stěnách se přizpůsobuje vlastnostem částic tak, aby nedocházelo k jejich rozbití způsobeným průtokem otvory. S přihlédnutím k těmto faktorům je možné navrhnout i více děrovaných stěn za sebou.

Usazovací prostor slouží k samotné sedimentaci vložkovitých částic a jeho velikost se navrhuje podle množství kalu, rychlosti usazení částic a kvality odsazené vody. V této části nádrže dochází k realizaci hlavní funkční činnosti této technologie, a to k sedimentaci částic působením gravitační síly.

Velikost prostoru usazeného kalu se určuje podle množství látek ve vznosu částic, jejich vlastností a dobou hromadění kalu. Při návrhu musíme zajistit dostatečné stírání kalu, aby nedocházelo k jeho vyhnívání na dně nádrže, což způsobuje zhoršení kvality odsazené vody. Kal je shrnován do kalových jímek u vtokové části nádrže.

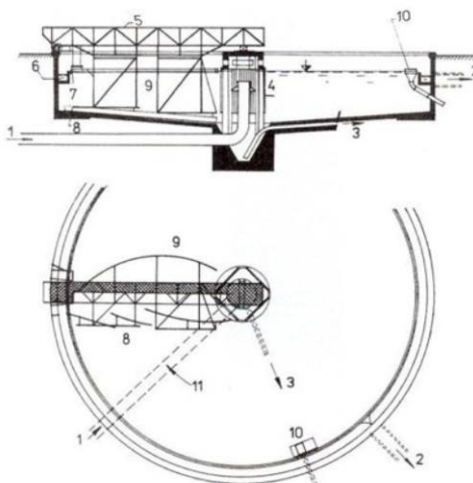
Výtok z tohoto typu usazovací nádrže je prováděn nejčastěji žlabem, který je umístěn u hladiny přes celou šířku nádrže na výtokové straně. Využívají se i soustavy několika propojených žlabů. Přepadová hrana žlabů je opatřena pilovitými výřezy nebo je vodorovná. Před přelivnou hranou bývá norná stěna, která chrání výtokový prostor před plovoucími nečistotami.

Kruhové usazovací nádrže s radiálním horizontálním průtokem vody

Funkční prostory jsou stejné jako u obdélníkových nádrží. Vtok bývá u tohoto typu nádrží umístěn v ose válce. Ocelovým potrubím, které končí přelivným kalichem těsně pod hladinou, nebo u dna středního válce, jenž tvoří clonu pro vtok a pomáhá zajistit rovnoměrné proudění v nádrži. Střední válec nemá dno, a tak voda protéká skrz něj do usazovacího prostoru nádrže, nebo je stěna válce těsně pod hladinou vody děrovaná a k průtoku do usazovací části dochází po celém obvodu pláště středního válce a na výšce asi poloviny hloubky nádrže, která se pro lepší usměrnění proudu vody opatří svislými česly s mezerami 2 – 3 cm, jejichž plocha nesmí zahrnout více než 50 % plochy otvoru. [1]

Shrabování kalu z kónického dna je nejčastěji nepřetržité. Kal je shrabován do kalové jámky umístěné ve středu pod nádrží, odkud je kal dopravován k dalšímu zpracování na kalové hospodářství.

Odběrné žlaby se umísťují po obvodu nádrže a jsou řešeny obdobně jako u horizontálních nádrží přepadem přes přelivnou hranu. Před přelivnou hranu se umísťuje norná stěna zadržující plovoucí nečistoty.



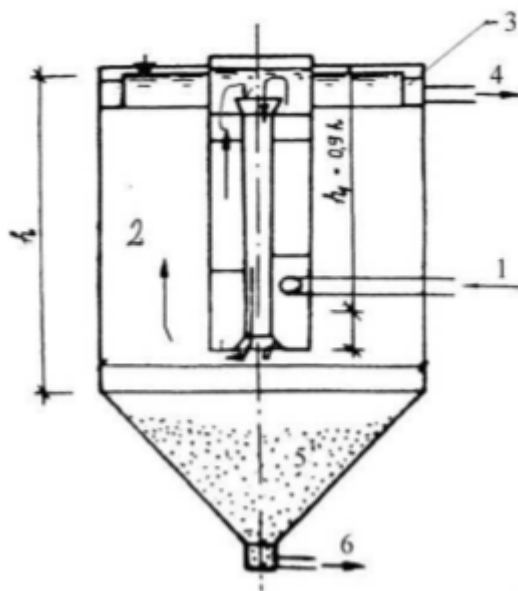
Obr. 4.2 Kruhová usazovací nádrž s radiálním horizontálním průtokem

Kruhové usazovací nádrže s vertikálním průtokem vody

Tyto nádrže mají prostor vnitřní vločkovací a obvodový usazovací, jenž jsou odděleny válcovou přepážkou. Voda přitéká do středu nádrže a protéká směrem dolů středním válcem, který má hloubku 0,8 – 0,9 hloubky nádrže. Průtočná rychlost ve středním válci bývá $20 - 25 \text{ mm.s}^{-1}$.

Vertikální průtok urychluje nárůst vloček, a tím zvyšuje účinnost sedimentace. Výška vločkovacího prostoru bývá 0,9 násobek výšky usazovacího prostoru, která se určuje podle doby zdržení, vzestupné rychlosti a výškového uspořádání úpravy, obvykle 3,5 – 5 m. Poměr průměru usazovací nádrže ku výšce nemá být větší než 3:2.

Kal se usazuje v kuželovitém prostoru dna a vypouští se ze dna, když vrstva kalu dosáhne svislé stěny nádrže. Sklon kužele bývá mezi 50° a 60° . Kal je vypouštěn bez přerušení provozu a odtok musí být navržen tak, aby při nepřetržitém vypouštění nedocházelo k víření usazeného kalu. [1]



Obr. 4.3 Kruhová usazovací nádrž s vertikálním průtokem

Patrové a lamelové usazovací nádrže

Jedná se o tzv. rychlou sedimentaci, při níž je doba zdržení asi 15 minut. Tato nádrž obsahuje velké množství prvků (lamel, trubek). Účinnost tohoto systému dosahuje až 96 %. Prvky se v nádrži umísťují tak, aby byl co nejvíce využit její prostor. Na účinnost má vliv délka a sklon lamel. Minimální délka lamel je 1 metr. Pro správnou funkci lamelového systému má být Reynoldsovo číslo menší než 200.

Používají se různé typy konstrukce těchto systémů např. se vzestupným prouděním (proudění vody má opačný směr než pohyb kalu), se sestupným prouděním (kal usazený na dně se pohybuje ve stejném směru jako voda) nebo s pohyblivými pásy. [1]

4.3.2 Čiřiče

Všechny čiřiče pracují s vločkovým mrakem, což je vrstva vločkovitých částic vznášených ve vodním sloupci, které vznikly chemickým srážením koloidních látek. Rozdíl mezi nimi je v tom, že u některých čiřičů dochází k vločkování přímo v prostoru čiřičů a u některých musí vločkování probíhat v předřazených nádržích.

V čiřičích prochází upravovaná voda vločkovým mrakem, ve kterém dochází k zachycení vloček vzniklých při koagulaci. Vločkový mrak je vrstva různě velkých vloček ve vznosu a jeho vznášení probíhá v oblastech nádrže, kde dochází k mírně turbulentnímu proudění. Voda protéká nádrží vertikálně od spodu nahoru a vločky obsažené v upravené vodě se setkávají s vločkami ve vločkovém mraku. K nim se přichytí a z mraku již odtéká voda zbavená většiny vloček, která je odváděna z čiřiče přelivnými žlaby.

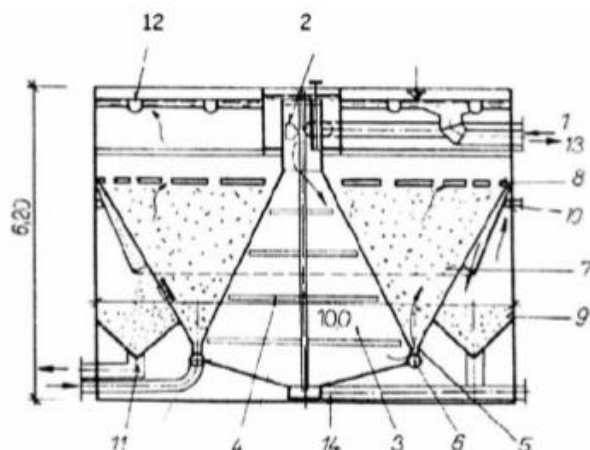
Separační médium vločkový mrak časem houstne a stárne vlivem neustálého nabalování nových vloček, proto je nutno z něj staré a přebytečné vločky odstraňovat, aby nedocházelo k zahnívání v nádrži a nebyla tak výrazně ovlivněna účinnost čiřiče. Výška vločkového mraku je minimálně 1,5 m, obvykle se pohybuje v rozmezí 2 – 2,5 m. Jeho hladina má konstantní výšku udržovanou pomocí přelivné hrany, přes kterou jsou přebytečné vločky hydraulicky dopravovány do kalového prostoru. Udržení vločkového mraku ve vznosu je zajištěno hydraulicky nebo mechanicky. Hydraulický vznos je způsoben odporem vznášených vloček proti vodě protékající směrem k hladině, přičemž je rychlost protékající vody v rovnováze s odporem vloček. Při zvýšení protékané rychlosti dochází k vynášení vloček do přelivu upravené vody a účinnost čiření se snižuje. Naopak, pokud se průtočná rychlost sníží pod $0,6 \text{ mm.s}^{-1}$, dochází k sedimentaci vločkového mraku a účinnost v tomto případě také klesá. Mechanický vznos je zajišťován např. pomocí pádel, kyvadel nebo shrabováků, které vytvoří v nádrži pohybovou energii způsobující vznos vloček. Za pádlem se tvoří vír, jenž udržuje suspenzi ve vznosu. [1][2]

Z hlediska hydrauliky rozeznáváme čtyři druhy čiřičů:

- čiřiče s hydraulickým vznosem vločkového mraku,
- čiřiče s mechanickým vznosem vločkového mraku,
- čiřiče s cirkulací kalu,
- čiřiče s periodicky se měnícím průtokem.

Čiřiče s hydraulickým vznosem vločkového mraku

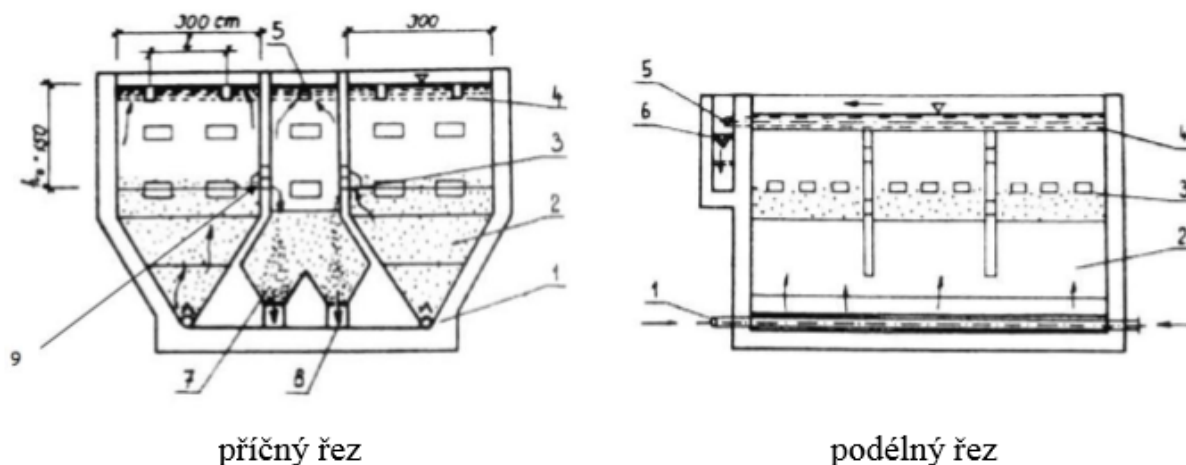
K tomuto typu čiřičů patří čiřič se šterbinovým vtokem vyvinutý Ústavem pro hydrodynamiku ČSAV. Je kruhový a ocelový, často je uzpůsoben pro rychlé a pomalé míchání – viz obr. 4.4. V prostoru 2 s lopatkovým míchadlem dochází k rychlému míchání a v prostoru 3 s pádlovým míchadlem dochází k pomalému míchání.



1 – vtok, 2 – lopatka pohonu míchadla, 3 – vločkovací prostor, 4 – pádlo, 5 – štěrba, 6 – proplachovací potrubí, 7 – čiricí prostor, 8 – přeliv kalu, 9 – zahušťovací prostor, 10 – nucený odtah, 11 – odkalovací žlab, 12 – žlab, 13 – výtok, 14 – vyprazdňování

Obr. 4.4 Čirič s hydraulickým vznosem vločkového mraku [1]

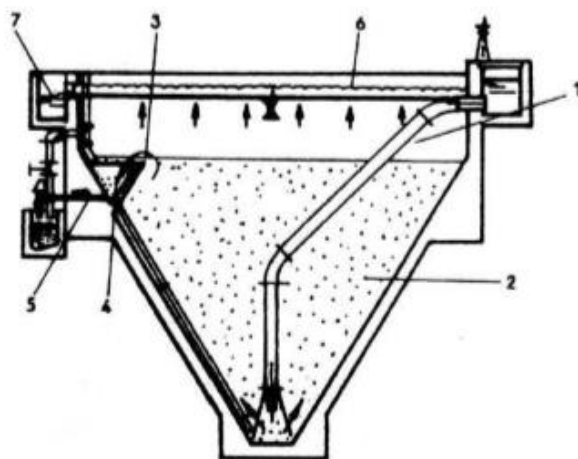
Dalším zástupcem čiričů s hydraulickým vznosem vločkového mraku je galeriový čirič viz obr. 4.5.



1 – vtok vody do čiriče, 2 – čiricí prostor, 3 – zahušťovací (kalový prostor), 4 – přelivný žlab vyčiřené vody, 5 – odtah vody se zahušťovacího prostoru, 6 – odvodněný žlab vody z čiričů, 7 – kalový prostor, 8 – odkalení kalového prostoru, 9 – otvory pro přepad vločkového mraku z čiricího prostoru do zahušťovacího prostoru

Obr. 4.5 Galeriový čirič [1]

Mezi čiriče s hydraulickým vznosem vločkového mraku patří i čirič Candy s kruhovým nebo čtvercovým půdorysem o délce strany max. 7 m. Tento typ čiričů nemá kalový prostor a kvůli malému zahušťovacímu prostoru je nutné ho často odkalovat.



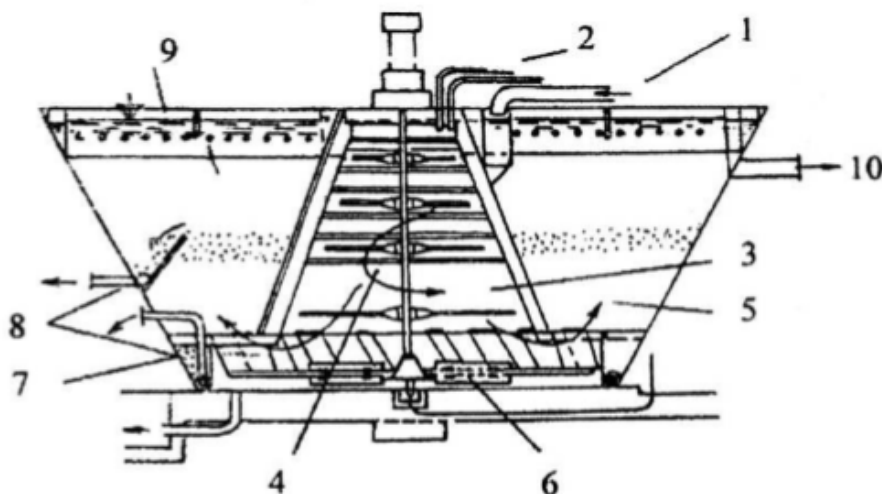
Obr. 4.6 Čiřič Candy [1]

1 – vtok upravované vody, 2 – vločkovitý mrak, 3 – hrana přelivu, 4 – zahušťovací prostor, 5 – odkalovací potrubí, 6 – přepad upravené vody do žlabu, 7 – sběrný žlab.

Čiřiče s mechanickým vznosem vločkového mraku

U tohoto typu čiřičů bývá nižší průtok než u čiřičů s hydraulickým vznosem. Pádlo se pohybuje obvodovou rychlostí asi $2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$.

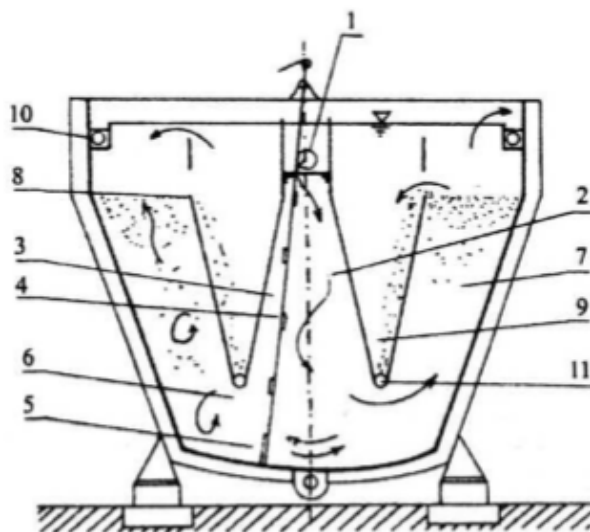
Zástupcem čiřičů s mechanickým vznosem vločkového mraku je čiřič precipitátor viz obr. 4.3.7



Obr. 4.7 Čiřič Precipitátor [1]

1 – vtok upravované vody, 2 – dávkování srážedel, 3 – horní část vločkového prostoru, 4 – vodorovná pádla, 5 – čiřicí prostor, 6 – pádla na spodním rameni, 7 – šikmé desky, 8 – boční zahušťovací prostor, 9 – sběrné žlaby pro upravenou vodu.

Jiným typem čířiče s mechanickým vznosem vločkového mraku je čířič s kyvadlovým pádlem viz obr. 4.8.

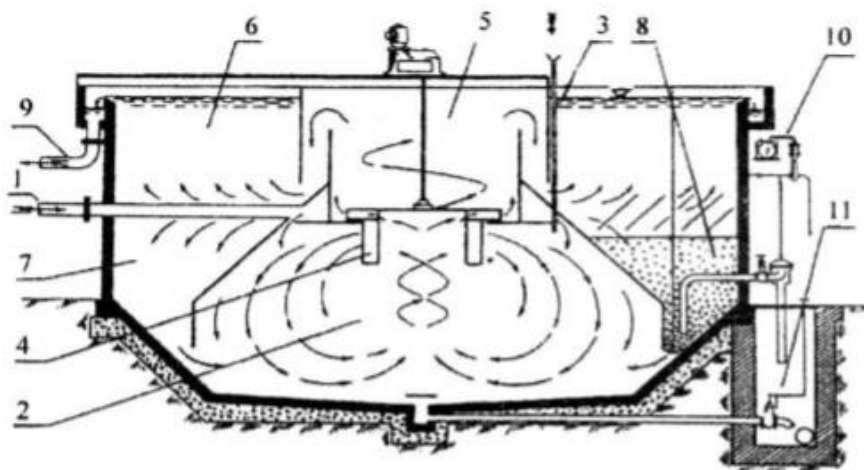


Obr. 4.8 Čířič s kyvadlovým pádlem [1]

1 – přítok vody, 2 – vločkový prostor, 3 – vahadlo, 4 – soustava vodorovných pádel, 5 – spodní pádlo, 6 – mezera mezi vločkovacím a čířícím prostorem, 7 – čířící prostor, 8 – přelivná hrana zahušťovacího prostoru, 9 – zahušťovací prostor, 10 – žlab pro odtok upravené vody, 11 – odtok zahuštěného kalu.

Čířiče s cirkulací kalu

Na tvorbu vloček příznivě působí recirkulované částice a bylo toho využito při návrhu tohoto druhu čířičů. Nejrozšířenějším čířičem je Accelátor s kruhovým půdorysem firmy Infilco (USA) – viz obr. 4.3.9.

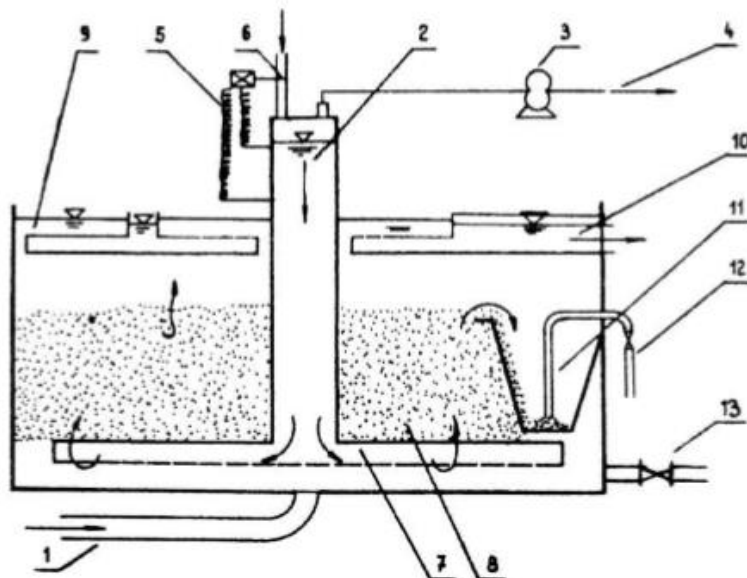


Obr. 4.9 Čířič Accelátor [1]

1 – přítok upravované vody, 2 – vrchol primárního vločkového prostoru, 3 – dávkování srážedel, 4 – mechanické pomaloobrátkové čmíchadlo, 5 – sekundární vločkovací prostor, 6 – upravená voda, 7 – čířící prostor, 8 – zahušťovací prostor, 9 – žlab pro odvod upravené vody, 10 – spínač pro odkalení, 11 – uzávěr pro úplné vyprázdnění kalu.

Čiřiče s periodicky se měnícím průtokem

Tento typ čiřičů využívá periodické opakování průtoků na vtoku. Příkladem čiřičů s periodicky se měnícím průtokem je Pulsátor firmy Degremont – má kruhový nebo pravoúhlý půdorys a délku stran do 50 m viz obr. 4.3.10.



Obr. 4.10 Čiřič Pulsátor [1]

1 – přítok upravované vody, 2 – sací zvon, 3 – vývěva, 4 – výfuk vzduchu, 5 – spínací elektrody, 6 – uzávěr pro spojení s atmosférou, 7 – rozdělovací potrubí a štěrby, 8 – čiřicí prostor, 9 – přepadový žlab pro upravenou vodu, 10 – sběrný žlab pro upravenou vodu, 11 – zahušťovací jímka, 12 – odkalovací potrubí s uzávěrem, 13 – uzávěr k vyprazdňování čiřiče.

4.3.3 Flotace

Další možností prvního separačního stupně je flotace, která se využívá v zahraničí už od šedesátých let minulého století. V České republice byla první flotační jednotka uvedena do provozu až v roce 2005 na ÚV Mostišť, kterou provozuje Vodárenská akciová společnost a.s. Brno, divize Žďár nad Sázavou. V odborné literatuře je flotace označována jako DAF (dissolved air flotation).



Obr. 4.11 Flotační jednotky na úpravě vody Mostiště

Metoda flotace je vlastně separací vysrážených látek do vloček, které jsou unášeny směrem k hladině jemnými vzduchovými bublinami, které jsou vháněny do upravované vody ve spodní části flotační nádrže. Částice kalu jsou potom odstraňovány sběrným zařízením z hladiny jako plovoucí kal. Před flotací je nutná flokulace, při které se jemné vločky shlukují do větších vloček, separovatelných pomocí flotace. Flotace je oproti sedimentaci a číření účinnější v separaci menších částic (desítky μm). Vyšší separační účinek flotace také zlepšuje provoz následného separačního stupně (pro filtry delší filtrační cykly a vyšší filtrační průtoky). Nádrž bývá hloubky 1,5 – 3,2 m a její povrchové zatížení bývá 10 – 20 m^3/h . [1]

Z technického hlediska lze flotaci provádět různými způsoby. Podle toho, jakou metodou dopravujeme do vody bubliny rozdělujeme flotaci na:

- aeroflotaci,
- elektroflotaci.

Aeroflotace

Metoda, která funguje díky vztlakovosti plynu, v jejímž důsledku dochází k vyzdvihnutí tuhé částice k povrchu. Ve vodárenství je tímto plynem zpravidla vzduch. Rozdělujeme ji na flotaci dispergováním vzduchem a flotaci rozpouštěním vzduchem.

Při flotaci dispergováním vzduchem produkujeme poměrně velké vzduchové bubliny o přibližném průměru $1 \cdot 10^{-3}$ m. Bubliny jsou tvořeny rychlým mícháním nebo probubláváním vzduchu porézním materiálem. K míchání slouží míchadla nebo oběžné kolo.

Při flotaci rozpouštěním vzduchem dochází k uvolňování bublin z vody zásluhou přesycení vody vzduchem. Vzniklé bubliny jsou mnohokrát menší než u flotace dispergováním vzduchem, a to $7 - 9 \cdot 10^{-6}$ m v průměru. Používají se dva typy této flotace, a to flotace vakuová a tlaková. [7]

Elektroflotace

Rozdílem mezi aeroflotací a elektroflotací je způsob, kterým dochází k tvorbě bublin. U elektroflotace je tvorba bublin zajištěna elektrolyzou. Tato zařízení se skládají ze dvou částí. Z flotační jednotky, která obsahuje systém elektrod, a z transformátoru – rektifikátoru sloužícímu k napájení elektrod stejnosměrným proudem o nízkém napětí. Vznikají tak bubliny o průměru $5 - 7 \cdot 10^{-5}$ m, které jsou tvořeny molekulami vodíku a kyslíku. Podle směru toku vody k elektrodám může být elektroflotace souprůdá nebo protiprůdá.

Při úpravě surové vody na pitnou se používá tlaková filtrace s rozpuštěným vzduchem, zejména u povrchových vod s vysokým výskytem řas a u vod silně zakalených, nebo u vod s nízkým obsahem zákalotvorných látek. Flotační účinek je závislý na kvalitě předřazené flokulace.

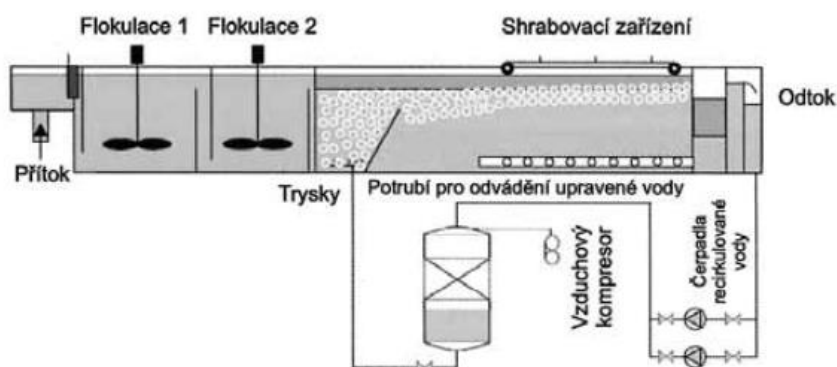
Flotační nádrž je složena z těchto zón:

- zóna reakční,
- zóna vyflotované pěny,
- zóna vyflotované vody.

V reakční vodě dochází k promísení upravované vody s vodou nasycenou rozpuštěným vzduchem a dochází k spojení vloček nebo suspendovaných látek s mikrobublinami, jejichž působením jsou vynášeny k hladině nádrže.

Na hladině nádrže se poté vytváří zóna vyflotované pěny. Ta je vlastně tvořena vločkami vyneseny k hladině pomocí bublin. Pěna je z hladiny pravidelně odstraňována pomocí shrabováků a přes odpadní jímku je odváděna do kalového hospodářství. Jímka i odtokové potrubí musí být pravidelně čištěny proplachem.

Pod zónou vyflotované pěny vzniká zóna vyflotované vody. Voda je z ní odebírána pomocí dnového roštu a přes odtokovou jímku odtéká dál na druhý separační stupeň, jímž je filtrace. Část upravené vody je ovšem odváděna do saturátoru, kde je do vody vháněn vzduch a je tedy znovu využita pro proces flotace. Součástí saturátoru je kompresor, který zajišťuje přísun tlakového vzduchu do vody. Zhruba 6 – 12 % z celkového množství upravené vody je znovu využito ve vedlejším okruhu tvořeném saturátorem. [1][7]



Obr. 4.12 Schéma typického uspořádání flotačního zařízení [7]

Mezi výhody flotace patří:

- vysoká účinnost odstranění CHSK_{Mn} , zákalu, barvy, biologických látek,
- možnost úpravy silně eutrofizovaných vod,
- vysoká sušina kalu (0,2 – 6 %),
- nižší zábor ploch.

Nevýhodou flotace je vysoká energetická náročnost, kvůli provozu vzduchových dmychadel a oběhových čerpadel tzv. „bílé vody“, která musí být v plném provozu i při nižší potřebě vody.

4.4 MOŽNOSTI DRUHÉHO SEPARAČNÍHO STUPNĚ

4.4.1 Filtrace

Při dvoustupňové úpravě je druhým stupněm separace vždy filtrace. Pro úpravu surové vody na pitnou používáme zpravidla filtraci objemovou. Princip této metody separace je zachycení nečistot ve vrstvě zrnitého materiálu (např. křemičitý písek, kamenné uhlí, antracit, křemelina nebo plast). Filtrační materiál musí být odolný proti otěru a chemické stálosti.

Dalším rozdělením je dělení filtrů podle způsobu odstraňování nečistot z vody a rychlosti filtrace. Dělí se na:

- pomalou biologickou filtraci,
- rychlou filtraci.

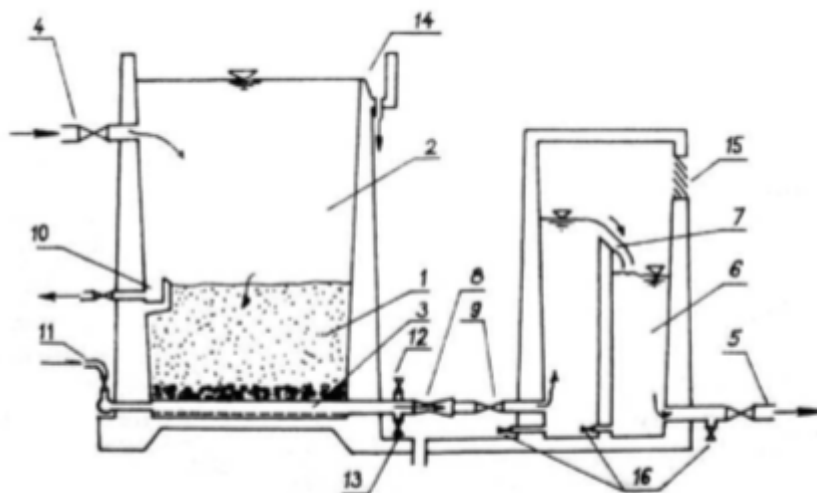
Pomalá, biologická filtrace

Při tomto druhu filtrace se snažíme napodobit podmínky čistících procesů, které probíhají v přírodním prostředí. K biologickému odbourávání nečistot dochází na povrchu a v horní vrstvě filtračního lože, kde se vytváří tzv. biologická filtrační blána. Ta je tvořena organickými i anorganickými částicemi a je oživena aerobními mikroorganismy a řasami, které zajišťují samotnou biologickou část filtrace. Výška této vrstvy je až 2 cm, pokud je výška vyšší, dochází k velkým tlakovým ztrátám a snižuje se účinnost filtrace. Mikroorganismy obsahuje i filtrační lože pod blánou. Omezením pro tento způsob filtrace je pomalá filtrační rychlost, a proto se tato filtrace navrhuje pro malé úpravní vody.

Filtrovaná voda musí obsahovat dostatek kyslíku, protože jsou mikroorganismy v biologické bláně aerobní. K odbourání nečistot dochází působením metabolických procesů mikroorganismů, při kterých dochází k mineralizaci organického znečištění. Dále dochází k odstranění nežádoucích mikrobů, coliformních zárodků, suspendovaných látek, koloidů látek makroorganismů a mikroorganismů. Výška biologické blány se v průběhu času mění, a tím se mění i účinnost filtrace. V první fázi filrace (1 – 2 týdny v létě, 4 – 6 týdnů v zimě) blána teprve vzniká, a proto je účinnost nízká.

Další fází je filtrace (1 – 3 měsíce v létě, 2 – 6 v zimě), při které je blána dostatečně silná a dochází ke kvalitní filtraci upravované vody. V závěrečné fázi biologická blána bytí a je málo propustnou. Poté dochází k regeneraci filtrační vrstvy.[1]

Rychlost filtrace je mezi $0,1 - 0,2 \text{ m.h}^{-1}$. Jako filtrační materiál se používá křemičitý písek frakce $0,3 - 1 \text{ mm}$ a výška filtrační vrstvy bývá $1 - 1,2 \text{ m}$. Pod filtrační vrstvou je rozdělovací vrstva drenáže, která chrání drenáž před vniknutím písku do drenáže. Výška vody nad náplní bývá $1,2 - 1,5 \text{ m}$, minimálně $0,5 \text{ m}$. [3]



Obr. 4.13 Otevřený pomalý filtr [1]

1 – vrstva písku, 2 – filtrovaná voda, 3 – drenáž, 4 – přívod upravované vody, 5 – odtok z jímky, 6 – jímka, 7 – přelivná hrana jímky, 8 – venturiho trubice na měření průtoku, 9 – uzávěr, 10 – žlab pro odvedení vody před regenerací filtru, 11 – potrubí pro naplnění pískové vrstvy vodou po regeneraci, 12 – odvodušnění drenáže, 13 – výtok pro odvodušnění drenáže, 14 – přelivná hrana surové vody na plovoucí nečistoty, 15 – ventilace prostoru nad přepadem upravené vody, 16 – uzávěry pro vypuštění v případě poruchy.

Pokud tlaková ztráta dosáhne $0,5 \text{ m}$, musí následovat regenerace filtru. Většinou ručně se seškrábne $2 - 4 \text{ cm}$ svrchní vrstvy, která obsahuje filtrační písek a biomasu. Při opakované regeneraci dochází k úbytku písku, a pokud klesne na $60 - 70 \text{ cm}$, je nutno písek doplnit. Při zapracování filtru se upravovaná voda pouští do odpadu.

Úprava povrchových vod pomalou filtrací je provozně jednoduchá a je doporučena pro malé obce s nedostatkem podzemní vody. Kvůli malé rychlosti filtrace je vyžadována velká obestavěná plocha a ochrana proti mrazu. Zastavění velkých ploch je finančně náročné a proto se tato metoda filtrace navrhuje pouze pro malé výkony úpravy.

Rychlá filtrace

Kvůli zvýšené potřebě vody bylo nutno začít vodu čistit rychlejším způsobem než pomalou filtrací. Začala se tedy používat rychlá filtrace, která nepracuje na principu biologické úpravy a díky tomu můžeme značně zrychlit proces filtrace. Doporučená rychlost filtrace se pohybuje v rozmezí $3,6 - 7,2 \text{ m.h}^{-1}$. Zrnitost filtračního materiálu bývá $0,5 - 2,0 \text{ mm}$ [1].

Filtrační cyklus trvá u rychlofiltrů od jednoho až po několik dní. Rychlofiltry rozdělujeme dle směru průtoku na průtočné shora dolů, zdola nahoru a oboustranně a dále je dělíme na otevřené a uzavřené.

Otevřené rychlofiltry bývají betonové pravoúhlé nádrže, které dělíme na americké a evropské. V tabulce 4.1 jsou uvedeny provozně technické parametry, jenž znázorňují rozdíly mezi americkým a evropským typem rychlofiltrů.

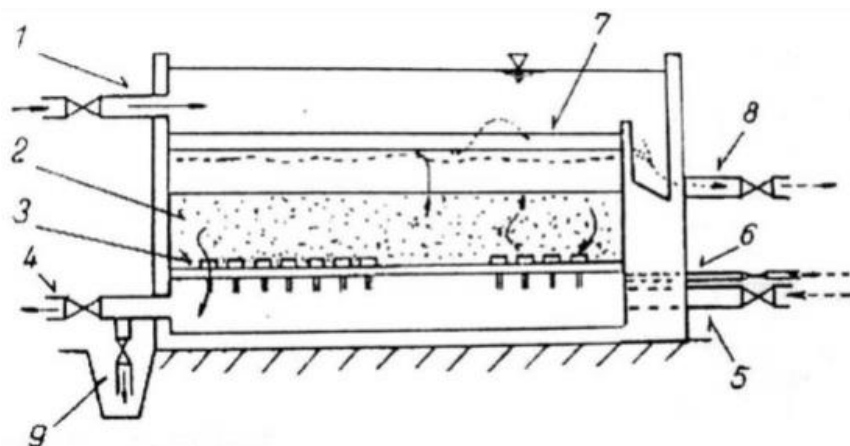
Tab. 4.1 Rozdíl mezi americkým a evropským rychlofiltrem[1][3]

	Jednotky	Americký rychlofiltr	Evropský rychlofiltr
Výška filtrační náplně	m	0,8	1,1 - 1,3
Zrnitost filtrační náplně	mm	0,4 - 0,7	0,7 - 1,1
Filtrační rychlost	m.h^{-1}	4,5 - 7,0	3,6 - 7,2
Prací voda	$\text{l/m}^2.\text{s}$	10,0 - 12,0	4,0 - 5,0
Prací vzduch	$\text{l/m}^2.\text{s}$	-	12,0 - 16,0

Filtrační náplň evropských filtrů má větší vrstvu a hrubší zrna, proto v nich pronikají suspendované látky do větší hloubky filtrační náplně. Z tohoto důvodu je nutno u evropského rychlofiltru použít při regeneraci filtru i tlakový vzduch.

První fáze regenerace amerických rychlofiltrů se provádí pomocí tlakové vody ze Segnerových kol, která jsou umístěna asi 20 cm nad filtrační vrstvou, poté se fáze praní dokončí vodou přiváděnou do spodní části filtru.

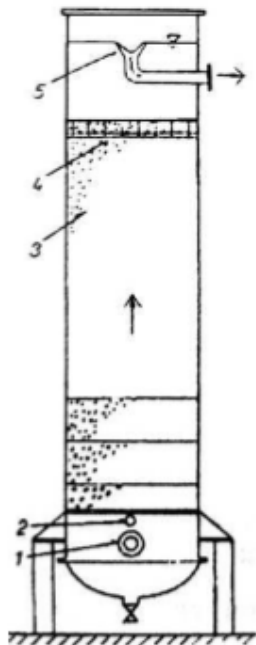
Spotřeba prací vody se pohybuje v rozmezí 2 – 5 % z celkové vyrobené vody. Filtry je po prvním separačním stupni nutné regenerovat přibližně po 24 h. [3]



Obr. 4.14 Schéma otevřeného evropského rychlofiltru s průtokem shora dolů [1]

Přítok upravované vody – 1, filtrační vrstva – 2, mezidno – 3, odtok upravené vody – 4, přívod prací vody – 5, přívod pracího vzduchu – 6, žlab pro odtok prací vody – 7, odtok prací vody do odpadu – 8, odtok filtrátu po regeneraci filtru do odpadu – 9.

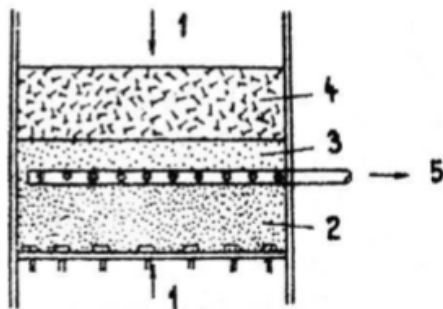
Filtr s průtokem zdola nahoru umožňuje lepší využití mezer mezi hrubšími zrny v dolní části filtrační vrstvy. Objem mezer je zde vyšší než u protékání shora dolů, ale vzniká nebezpečí vznosu jemnějších částic z povrchu filtrační vrstvy, přičemž může dojít k průniku kalu filtrem.



Obr. 4.15 Filtr protékáný zespod nahoru [1]

Přítok upravované vody – 1, odvzdušnění prostoru pod mezidnem pomocí potrubí – 2, filtrační vrstva – 3, mříž bránící vznosu vrchní vrstvy filtrační vrstvy – 4, odtok upravené vody – 5.

Problém se vznosem jemných částic z povrchu filtrační vrstvy nenastává při použití oboustranně protékaného rychlofiltru.



Obr. 4.16 Filtr protékáný oboustranně [1]

Směr průtoku zespodu a shora – 1, spodní filtrační písková vrstva – 2, horní písková filtrační vrstva – 3, 4 – vrstva antracitu, 5 – děrované potrubí pro odtok upravené vody.

Uzavřené rychlofiltry jsou válcové nádrže stojaté i ležaté, o průměru 0,6 – 3,0 m. Filtračním materiálem bývá obvykle křemičitý písek, méně často antracit nebo aktivní uhlí. Zrnitost bývá do 2 mm a výška filtrační vrstvy bývá v rozmezí 3 – 4 m. Díky tomu, že jde o tlakovou filtraci, je ve filtru přetlak 0,4 – 0,6 MPa. Filtrační rychlost je vyšší než u otevřených rychlofiltrů asi 8 – 10 m.h⁻¹. [3]

Uzavřené filtry využíváme i pro koagulační filtraci, která umožňuje snížení dávky koagulantu až na polovinu, protože vznik vloček urychluje styk suspenze s drsnými materiály. Na kontaktní filtr se přivede voda s přidavkem koagulantu a vznikající vločky se na filtru rychle shluknou do větších částic. Proces flokulace se tím zrychlí a sníží se potřebná dávka koagulantu až na polovinu. Výhodou koagulační filtrace je to, že koagulace probíhá přímo nad filtrační vrstvou a v ní, a tak není nutností zařadit na technologickou linku zařízení pro koagulaci. Další výhodou je velká rychlost filtračního procesu a malý vliv teploty upravované vody.

Uzavřené rychlofiltry využíváme zejména pro úpravu vody z podzemních zdrojů, ale je možno je využít i pro úpravu povrchových vod s malým znečištěním.

Regenerace filtrů se provádí, pokud dojde k:

- překročení tlakové ztráty ve filtrační náplni,
- překročení zákalu v upravené vodě,
- překročení limitů pro Al a Fe z koagulantů v upravené vodě,
- překročení přípustné doby trvání jednoho filtračního cyklu.

Regenerace amerického filtru:

1. Rozrušení horní vrstvy filtrační náplně po snížení hladiny pomocí tlakové vody.
2. Fáze spodního i horního praní.
3. Pouze spodní praní (dopírání filtru).

Regenerace evropského filtru:

1. Praní vzduchem, který je do filtrační náplně vháněn vzduchovým roštem umístěným pod ní.
2. Praní vzduchem a vodou. Intenzita pracího vzduchu se mírně sníží a začne se do filtrační vrstvy vhánět tlaková voda. Dojde tak k expanzi filtrační náplně a prací voda odtéká do odpadu prací vody.
3. Praní pouze vodou (dopírání).

Doby jednotlivých fází praní závisí na množství zachyceného kalu a jeho struktuře, často je doba praní optimalizována při poloprovozu úpravy. Musíme dosáhnout 80 – 90 % účinnosti praní.

4.5 DESINFEKCE

Upravená voda stále může obsahovat choroboplodné zárodky, které by mohly mít vliv na spotřebitele. Desinfekce bývá poslední fází úpravy vody a je realizována chemickými nebo fyzikálními procesy. Používaná desinfekční činidla jsou na bázi chloru (plynný chlor, oxid chloričitý, chlornan sodný, chlorové vápno, chloramin) a bezchlorové (ozón, UV záření, oligodynamické účinky kovů).

4.5.1 Desinfekce chlorem a jeho sloučeninami

Je to nejčastější způsob desinfekce, díky svojí vysoké účinnosti při odstranění bakterií a virů i při malých dávkách a zároveň odstraňuje nežádoucí pachy. Chlor je žlutozelený plyn, dodávaný v lahvích 30 – 60 kg nebo v kontejnerech 500 – 600 kg v kapalném skupenství. Hustota chloru je 2,5 krát větší než hustota vzduchu. Dalším důvodem, proč je chlor tak hojně využíván, je fakt, že je poměrně jednoduše rozpustný ve vodě, což značně usnadňuje jeho dávkování. [1][3]

Plynný chlor je nejčastější variantou desinfekce a do vody se dodává chlorátory, kde se chlor naředí vodou, ve které se rozpustí. Vzniklá chlorová voda se následně dává do upravované vody. Množství chloru potřebné k desinfekci vody závisí na vlastnostech upravované vody (pH, CHSK_{Mn} , teplota, obsah organických látek a organismů). Přibližně se dávka pro úpravu povrchové vody pohybuje v rozmezí 1,0 – 3,0 mg/l. Dávkováním plynného chloru dochází k snížení pH a doba kontaktu vody s volným chlorem je pro pitnou vodu minimálně 2 h. Snažíme se, aby koncentrace chloru v nejvzdálenějším místě sítě byla 0,05 – 0,3 mg/l. Výhodou použití chloru jsou nízké provozní náklady, nevýhodou je závislost účinnosti na pH a možnost vzniku nežádoucích produktů. [1]

Oxid chloričitý má mnohem silnější oxidační a desinfekční účinky než plynný chlor, ale nižší rozpustnost. Je to nestálý a explozivní plyn, který se vyrábí přímo na úpravně. Velikost dávky pro povrchovou vodu je přibližně 0,4 mg/l. Produktem této desinfekce jsou chloritany, které mají mezní povolenou koncentraci 0,2 mg/l v upravené vodě. Nevýhodou tohoto desinfekčního činidla je složitější obsluha, vyšší provozní náklady. Výhodou je mimo vyšší účinnost i nezávislost účinku desinfekce na pH. [3]

Chlornan sodný je používán u menších úpravěn kvůli nízkým nárokům na obsluhu. Je asi 7 krát méně účinný než plynný chlor a jeho dávkování zvyšuje pH upravené vody.

4.5.2 Desinfekce UV zářením

Desinfekce UV zářením probíhá v reaktorech, ve kterých je umístěn zdroj záření, tedy UV lampa. Používají se nízkotlaké UV lampy (vlnová délka 254 nm) a střednětlaké UV lampy (vlnová délka 185 – 400 nm). UV záření způsobuje fotochemické poškození nukleových kyselin, bílkovin a enzymů v buňkách jednotlivých mikroorganismů. Důsledkem tohoto procesu je zastavení množení bakterií. [8]

Výhodou této metody je, že se do upravované vody nepřidávají žádné chemikálie a neovlivňuje se tím její chuť a pach, nemění se složení vody, nevznikají vedlejší produkty dezinfekce s negativním účinkem na zdraví a účinek desinfekce skoro nezávisí na chemických vlastnostech a teplotě vody. Nevýhodou UV záření je možnost zpětné kontaminace, protože UV záření nevytváří reziduum.

4.5.3 Desinfekce ozónem

Ozón je desinfekční činidlo s nejsilnějším oxidačním i desinfekčním účinkem. Je to nestálý namodralý plyn, který je toxický pro lidský organismus, proto je potřeba dodržovat přísná opatření pro nakládání s ním. Ozón se vyrábí v ozonizátorech z kyslíku. Baktericidní účinek má při koncentraci přibližně 0,1 – 0,2 mg/l s dobou kontaktu 1 – 2 min a viry ničí při koncentraci 0,4 mg/l s dobou kontaktu 4 min. Přibližně se do vody z povrchového zdroje dávkuje 0,3 mg/l.

Míchání vzduchu s ozónem a upravovanou vodou probíhá v injektorech nebo v tlakových mísičích. Po promíchání je voda zdržena v kontaktních nádržích. Doba zdržení se odvíjí od teploty vody, při 10 °C je to 10 min a s rostoucí teplotou se doba zdržení snižuje. Ozón se po použití rozkládá při 260 °C nebo je odstraněn pomocí aktivního uhlí.

Ozón stejně jako UV záření nevytváří reziduum, a tak se po jeho použití voda musí dochlorovat, aby bylo zabráněno rekontaminaci upravené vody. Ozón také zlepšuje sensorické vlastnosti vody (pach a chuť) a umožňuje oxidaci železa a manganu nebo znečištění způsobené mikropolutanty (zbytky léčiv, pesticidy, atd.). [1][9]

4.6 KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

Při úpravě vody je z vody odstraňován vzniklý vodárenský kal, který je možné po zpracování využít např. v zemědělství, lesnictví, průmyslu, čištění spalin nebo odpadních vod. V České republice se vodárenský kal takřka nevyužívá.

Vodárenské kaly zpracováváme buď přímo na úpravně, nebo je vypouštíme do kanalizace, kde je zpracován společně s odpadní vodou. Vodárenský kal obsahuje až 99 % vody a pro další zpracování je nutné ho zahustit a odvodnit. Cílem těchto procesů je získat kal o koncentraci 1,5 – 4 % sušiny. Nejčastěji se k zahuštění používá sedimentace v zahušťovacích nádržích. [10]

4.6.1 Zahušťování vodárenských kalů

Zahušťovací nádrže jsou podobné kruhovým usazovacím nádržím, v některých případech lze provádět usazení i zahuštění v jedné nádrži. Nádrže jsou buď železobetonové nebo ocelové s tepelnou izolací pláště, jejich průměr je obvykle 3 – 25 metrů a hloubka 2,4 – 14 m. Pracují kontinuálně nebo s přerušováním provozu, většina úpraven využívá dvě nádrže s přerušovaným provozem, přičemž v jedné dochází k zahušťování a druhá se plní. Zahuštěný kal je odebírán ze dna a odváděn k dalšímu zpracování. Proces zahušťování bývá podpořen pomalým mícháním. Zahušťovací nádrže bývají rozděleny na zónu prosté sedimentace, přechodnou oblast a zónu zahušťování. [10]

4.6.2 Odvodňování vodárenských kalů

Díky odvodnění můžeme zacházet s výsledným kalem jako se zeminou. Odvodnění provádíme buď přirozeně pomocí kalových polí a lagun, nebo strojně na kalolisech, pásových lisech a odstředivkách. Kalová pole a laguny mají nízkou účinnost, která je ovlivněna klimatickými podmínkami, a proto se v současnosti navrhují více strojní zařízení pro odvodnění kalu.

Kalová pole

Pole s filtrační drenážní vrstvou, která je odvodněna, a kal je na ně vypouštěn, aby vyschnul. Jde o obdélníkové nezastřešené nádrže, na jejichž dně je vrstva šterku a písku, která funguje jako filtrační vrstva pro drenáž, kterou je odváděna přebytečná voda z kalu. Rozměry kalových polí jsou až 20 x 8 m a výška kalové vrstvy bývá 30 – 50 cm. Odsazená voda je odváděna pomocí přepadů. Po 1 – 2 měsících (závisí na klimatických podmínkách) získáme asi 10 cm tlustou vrstvu kalu s 10 – 20 % sušiny. [10]

Kalové laguny

Kalové laguny slouží k zahuštění i odvodnění. Mají přirozené dno bez drenážní vrstvy, navrhují se minimálně dvě laguny. Laguny se napouštějí do výšky 0,6 – 1,0 m a kal zde vysychá cca 5 – 6 měsíců. Laguny se zpravidla využívají pro úpravy do 300 l/s upravené vody, pro větší úpravy je doporučeno použít strojní odvodnění.

Odvodňovací vaky

Jsou vyrobeny z hydrofobních materiálů a vhodné jsou zejména pro malé úpravy. Před odvodněním je kal upraven pomocí polymerních flokulantů a poté se napouští do vaků, ve kterých je kal zachycován, ale voda vakem proteče ven. Během jednoho až dvou dnů získáme kal s obsahem sušiny 15 – 20 %. Vak se poté zašije a začne fáze vysoušení kalu, která trvá 1 – 2 měsíce, čímž se docílí obsahu sušiny až 50 %. [10]

Kalolisy

Kalolis je naplněn dopravníkem nebo ručně kalem, který je potom hydraulicky stlačován mezi deskami, díky čemuž vznikne filtrační koláč kalu. Přebytečná voda odtéká drenážemi. Filtrační koláč je po otevření kalolisu dopravován do kontejneru. Před odvodněním se dávkuje organické flokulanty nebo vápno, což zvyšuje rychlost zahušťování.

Pásové lisy

Jsou tvořeny nekonečnými pásy a soustavou válců, mezi nimiž je kal na pásu lisován. Výhodou tohoto zařízení je nízká spotřeba energie. Nevýhodou je vysoká spotřeba vody pro oplach. Pomocí pásových lisů dosahujeme 20 – 35 % obsahu sušiny.

Odstředivky

Hlavní části jsou kónický válcový buben a šnekový dopravník. Do tělesa šneku je přiváděna odpadní voda, odkud je odstředivě separován kal směrem ke stěně válce, z níž je odstraňován k výstupu pro odvodněný kal. Odstředivky pracují kontinuálně a umožňují plně automatizovaný provoz. Jsou vhodné pro úpravy s nedostatkem prostoru, což může nastat při rekonstrukcích.

5 NÁVRH HLAVNÍCH TECHNOLOGICKÝCH PRVKŮ DVOUSTUPŇOVÉ ÚPRAVY VODY

Jako první separační stupeň jsem navrhnul podélné usazovací nádrže a jako druhý separační stupeň otevřené evropské rychlofiltry.

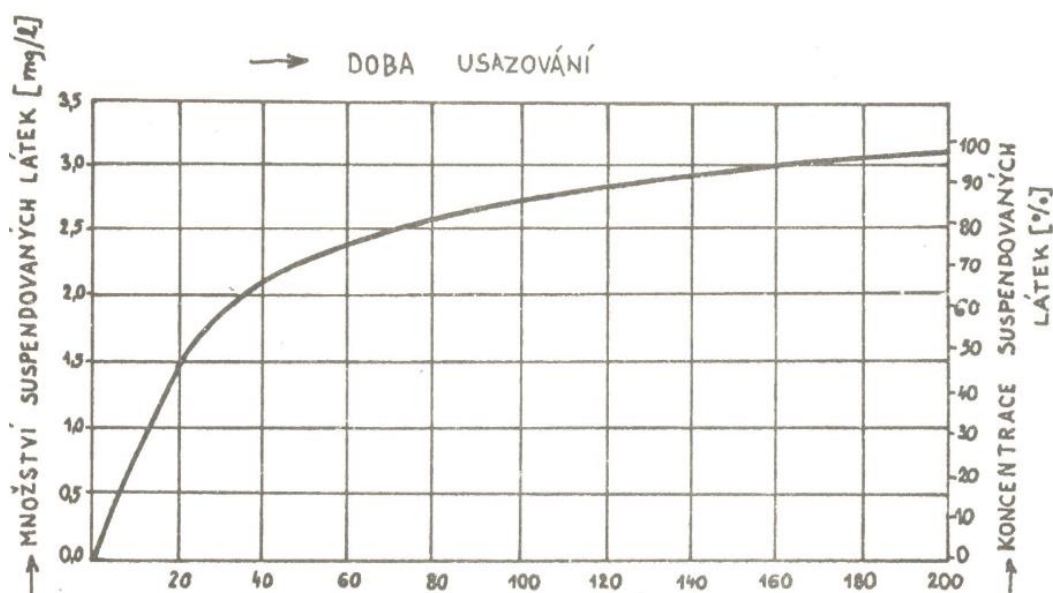
5.1 NÁVRH PODÉLNÉ USAZOVACÍ NÁDRŽE

Zadání:

Q	40 l/s	...návrhový průtok
η	83 %	...účinnost UN
u_s	0,4 mm/s	...usazovací rychlost (voda běžné kvality 0,35 - 0,45 mm.s ⁻¹)
v	4,5 mm/s	...vodorovná postupová rychlost
u_{MAX}	3 l/s/m	...maximální zatížení na přelivnou hranu
t	95 min	...doba zdržení (ze sedimentační křivky)
ν	$1,31 \cdot 10^{-6}$ m ² /s	...viskozita vody

Tab. 5.1 Sedimentační rychlosti suspendovaných látek [1]

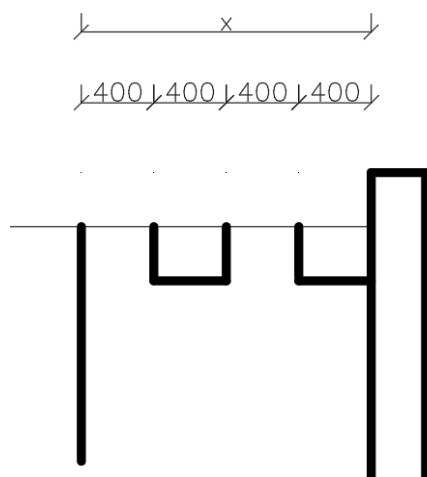
Charakteristika upravené vody a způsob úpravy	Sedimentační rychlost u_s [mm.s ⁻¹]	Součinitel α	Průměrná horizontální rychlost v [mm.s ⁻¹]
Zabarvené vody s obsahem suspendovaných látek do 200 mg.l ⁻¹ , úprava koagulací	0,35 – 0,45	1,3 – 1,8	3 – 6
Zabarvené vody s obsahem suspendovaných látek nad 200 mg.l ⁻¹ , úprava koagulací	0,5 – 0,6	1,3 – 2,0	4 – 12
Zakalené vody bez úpravy koagulací	0,12 – 0,15	1,8 – 3,5	2 – 3



Obr. 5.1 Sedimentační křivka [11]

Výpočet:

Počet nádrží:		2
Návrhový průtok:	$Q_1 = Q/n =$	20 l/s
Účinná plocha nádrže:	$F = Q_1/v_p =$	50 m ²
Účinná hloubka nádrže:	$h_u = u_s \cdot t =$	2,3 m
Šířka nádrže:	$B =$	3 m
Délka nádrže:	$L =$	16,7 m
Poměr délky ku šířce:	$L/B =$	5,57 rozmezí 4 - 8 ---> vyhovuje
Skutečný objem nádrže:	$V_{sk} = B \cdot L \cdot h_u =$	115,2 m ³
Skutečná doba zdržení:	$t_{sk} = V_{sk}/Q_1 =$	1,6 h
Skutečná doba zdržení:	1,5 - 2 hodiny	---> vyhovuje
Skutečná postupová rychlost:	$v_{sk} = L/t_{sk} =$	2,9 mm/s
Omočený obvod:	$o = 2 \cdot h_u + B =$	7,6 m
Obsah nádrže v řezu:	$S = B \cdot h_u =$	6,9 m ²
Hydraulický poloměr:	$R = S/o =$	0,908 m
Reynoldsovo číslo:	$Re = (v_{sk} \cdot R)/\nu =$	2009 < 3000 ---> vyhovuje
Zatížení na šířku jedné hrany:	$u_o = Q_1/B =$	6,667 l/s.m
Počet přelivných hran:	$n_p = u_o/u_{MAX} =$	2,22 ---> 3
Celková přelivná délka:	$l_p = n_p \cdot B =$	9 m
Délka za odtokovou clonou:	$x = 4 \cdot 0,4 =$	1,6 m
Celková délka UN:	$L_c = 1 + L + x =$	19,3 m



Obr. 5.2 Schéma odtoku upravené vody z usazovací nádrže

Tab. 5.2 Dimenzování potrubí usazovací nádrže

Typ potrubí	$Q[m^3/s]$	$v [m/s]$	$d [mm]$	DN [mm]	$S[m^2]$	$v_s[m/s]$
Přívodní potrubí	0,020	0,6	206	250	0,049	0,407
Odběrné potrubí z jednoho žlabu	0,010		146	150	0,018	0,566
Společné potrubí pro dva žlaby	0,020		206	250	0,049	0,407

5.2 NÁVRH OTEVŘENÉHO EVROPSKÉHO RYCHLOFILTRU

Zadání:

$Q_n =$	40 l/s	... návrhový průtok
$v_f =$	4,5 m/h	... filtrační rychlost (3,6 - 7,2 m/hod)

Výpočet:

Celková plocha všech rychlofiltrů F_c :	$F_c = Q_n/v_f =$	32,00 m ²
Počet filtračních jednotek n :	$n = 0,5 \cdot \sqrt{F_c} =$	2,83 ---> $n = 3$
Návrh rozměrů jedné jednotky:	$L = 4,2$ m	$B = 2,7$ m
Skutečná celková filtrační plocha F_s :	$F_s = L \cdot B \cdot n =$	34,02 m ²
Skutečná střední filtrační rychlost v_{fs} :	$v_{fs} = Q_n/F_s =$	4,23 m/h
Maximální filtrační rychlost v_{fmax} :	$v_{fmax} = Q_n/(L \cdot B \cdot (n-1)) =$	6,35 m/h

Posouzení:

Maximální filtrační rychlost musí být menší než 7,2 m/hod.

$v_{fmax} =$	6,35 m/h	<	7,2 m/h	--->	Vyhovuje
--------------	----------	---	---------	------	----------

Dimenzování potrubí:

Tab. 5.3 Návrhové charakteristiky potrubí

Typ potrubí		v [m/s]	Q
1	přívod vody	< 0,6	Q = Qn/(n-1)
2	odběr přefiltrované vody	1 - 1,5	
3	zafiltrování		
4	přívod prací vody	2 - 4	Q = F ₁ .i ₃
5	odběr prací vody	2 - 4	
6	přívod pracího vzduchu	15 - 20	Q = F ₁ .i ₁

F_1 ...plocha jednoho filtru je 11,34 m²

i_1 ...intenzita při praní vzduchem (15 – 22 l/s/m²) volím 18,5 l/s/m²

i_3 ...intenzita při praní vodou (6 – 8 l/s/m²) volím 7 l/s/m²

v ...průřezová rychlost [m/s]

Tab. 5.4 Dimenzování potrubí

Typ potrubí		i_1	i_3	F_1	$Q[m^3/s]$	$v [m/s]$	$d [mm]$	$DN [mm]$	$S[m^2]$	$v_s[m/s]$
1	přívod vody	18,5	7	11,34	0,020	0,4	252	250	0,049	0,407
2	odběr přefiltrované vody					1,25	143	150	0,018	1,132
3	zafiltrování						143	150	0,018	1,132
4	přívod prací vody				0,079	4	159	200	0,031	2,527
5	odběr prací vody					2	225	200	0,031	2,527
6	přívod pracího vzduchu				0,210	17	125	125	0,012	17,095

Q ...průtok potrubím [m^3/s]

S ...plocha průřezu [m^2]

v_{sk} ...skutečná průřezová rychlost [m/s]

d ...průměr potrubí [mm]

6 TECHNICKÁ ZPRÁVA

6.1 OBJEKTY PŘED PRVNÍM SEPARAČNÍM STUPNĚM

Zdrojem povrchové vody bude vodní tok, ve kterém je voda běžné kvality s obsahem suspendovaných látek pod 200 mg/l. Voda bude odebírána gravitačně břehovým jímácím objektem, kde budou osazeny hrubé a jemné česle. Následovat bude podle výškových poměrů čerpací jímka, odkud bude voda čerpána na úpravnu. Dále bude probíhat proces koagulace, fázi rychlého míchání a dávkování koagulantu, kterým může být například síran hlinitý, zajistí trubní satorový mísič Statiflo. O volbě optimálního koagulantu by rozhodly nejlépe poloprovozní zkoušky. Pomalé míchání bude probíhat v nádrži s horizontálními pádlovými míchadly.

6.2 NÁVRH PRVNÍHO SEPARAČNÍHO STUPNĚ

Prvním separačním stupněm budou dvě obdélníkové horizontální usazovací nádrže. Návrhový objemový průtok na jednu nádrž je 20 l/s. Šířka stěny železobetonové nádrže je 0,3 m a půdorysné rozměry jsou 19,3 m na 3 m. Výpočtem stanovená účinná hloubka nádrže je 2,3 m a kalový prostor má hloubku minimálně 0,3 m. Přívod vody je zajištěn potrubím DN250, které ústí do vtokového žlabu. U vtoku je navržena clona výšky 1,3 m a je umístěna 1 m od stěny nádrže. Odtok vody zajišťují dva žlaby a celkově 3 přepadové hrany. U odtoku je také navržena clona výšky 1,3 m ve vzdálenosti 1,6 m od stěny nádrže, obě clony jsou opatřeny protikorozií ochranou. Dno nádrže je ve sklonu 1 % proti směru proudění vody a je dále vyspádováno v příčném směru ke středu nádrže ve sklonu 1 %. Kal je ze dna odstraňován shrnovacím zařízením do kalové jímky, odkud je odváděn potrubím DN200 k dalšímu zpracování na kalovém hospodářství. Kalová jímka má hloubku i délku 1 m. Výkres usazovací nádrže je přílohou č. 1.

6.3 NÁVRH DRUHÉHO SEPARAČNÍHO STUPNĚ

Druhým separačním stupněm budou tři otevřené evropské rychlofiltry. Šířka železobetonové stěny rychlofiltru je 0,2 m, pod mezidnem pak 0,25 m a půdorysné rozměry nádrže jsou 4,2 m na 2,7 m. Přívod vody zajišťuje potrubí DN250 ústící do přepadového žlabu, který je po celé délce rychlofiltru. Filtračním materiálem je křemičitý písek s mocností 1,2 m, umístěný na mezidně složeném z dílců 0,6 x 0,9 m, což ovlivnilo návrh rozměrů rychlofiltru. K odtoku přefiltrované vody dochází u dna nádrže potrubím DN150. Voda pro praní filtru je přiváděna potrubím DN200 a prací vzduch je přiváděn potrubím DN125. Odtok prací vody probíhá přes přelivnou hranu vtokového žlabu a tato voda je odváděna z prostoru filtru pomocí potrubí DN200. Odvod vody po zafiltrování je DN200 a je zaústěn do potrubí odtoku prací vody. Z bezpečnostních důvodů je ve filtru osazen bezpečnostní přeliv DN250, jehož přepad je

umístěn 0,5 m pod hranou zdi rychlofiltru. Uspořádání trubních vedení a armatur je zobrazeno v přílohách (2,3 a 4).

6.4 OSTATNÍ ZAŘÍZENÍ

Po úpravě vody na dvou separačních stupních následuje desinfekce plynným chlorem dávkovaným pomocí chlorátoru. Posledním objektem na úpravně vody je kalové hospodářství. Ze strojně stíraných česlí bude odstraňovány shrabky. Hlavním zdrojem kalů bude usazovací nádrž, kde bude kal odtahován z kalové jímky, a dále rychlofiltr, v němž kalová voda vzniká při jeho praní. Prvním prvkem kalového hospodářství bude kruhová zahušťovací nádrž, v níž dojde k zahuštění kalu. Druhým prvkem kalového hospodářství bude zařízení pro odvodnění zahuštěného kalu, například kalolis.

7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo popsat nejčastěji využívaná zařízení pro úpravu vody a podrobněji popsat možnosti druhého separačního stupně při dvoustupňové úpravě vody z povrchového zdroje. Dále bylo cílem navrhnout hlavní technologické prvky úpravy vody, tedy první i druhý separační stupeň, a zpracovat jejich hydrotechnické výpočty, výkresovou dokumentaci a technologické schéma úpravy vody. Návrh dvoustupňové úpravy měl být poté shrnut v technické zprávě.

Cíle práce byly splněny a níže je popis, jakým způsobem jich bylo dosaženo.

První částí práce je krátká rešerše popisující postup dvoustupňové úpravy vody od povrchového zdroje až po odtok upravené vody k akumulaci, včetně kalového hospodářství. Jednotlivé technologické prvky jsou popsány postupně podle jejich zařazení v technologické lince úpravy vody.

Druhou částí je samotný návrh hlavních technologických prvků malé úpravy vody o výkonu $Q = 40 \text{ l/s}$ z povrchového zdroje vody běžné kvality. Jako první separační stupeň byly navrženy dvě obdélníkové usazovací nádrže s horizontálním průtokem a druhým separačním stupněm jsou tři otevřené evropské rychlofiltry.

Pro usazovací nádrž byla navržena účinná hloubka 2,3 m, šířka 3,3 m a délka účinné části usazovacího prostoru 16,7 m, přičemž celková délka je 19,3 m. Železobetonové stěny nádrže budou mít tloušťku 300 mm a v nádrži budou osazeny dvě ocelové norné stěny s protikorozní ochranou výšky 1,3 m. V nádrži dále bude jeden přívodní a dva odběrné nerezové žlaby.

Pro rychlofiltr byla navržena účinná šířka 2,7 m, délka 4,2 m a mocnost filtrační vrstvy je 1,2 m. Filtračním materiálem je křemičitý písek umístěný na mezidně. Přívod vody na filtr je realizován přes nerezový vtokový žlab. Voda je odebírána ve spodní části nádrže, kde je umístěn i přívod prací vody a pracího vzduchu. Dále je v nádrži filtru bezpečnostní přeliv. Tloušťka železobetonové stěny filtru je 200 mm, pod mezidnem je 250 mm.

Dále jsou v bakalářské práci zpracovány přílohy ve formě výkresů pro usazovací nádrž (půdorys, příčný a podélný řez), otevřený evropský rychlofiltr (dva pohledy a podélný řez) a technologické schéma úpravy, kde jsou naznačeny další objekty na úpravě vody od zdroje, tedy vodního toku, až po odtok k akumulaci.

Za přínos této práce lze považovat rešerši blíže popisující možnosti použití technologických prvků, konkrétně při dvoustupňové úpravě vody z povrchového zdroje. Dalším přínosem je praktická část bakalářské práce, kde je naznačen postup výpočtu obou hlavních technologických prvků, který je poté využit pro vypracování jejich výkresové dokumentace. Výkres technologického schématu potom popisuje možné uspořádání ostatních prvků na úpravě vody.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ, VODÁRENSTVÍ Studijní opory: A. ÚPRAVA VODY. Brno: FAST VUT v Brně, 2006.
- [2] GRÜNWALD, Alexander. Zdravotně inženýrské stavby 40: úprava vody. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. ISBN 80-010-1658-7.
- [3] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. *Chemie a technologie vody*. M02. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2006. ISBN 80-860-2013-4.
- [4] MATYSÍKOVÁ, Jana. *Česle a síta* [online]. ASIO, spol. s r.o., 26.6.2014 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/285.cesle-a-sita>
- [5] BINNIE, Chris KIMBER, Martin THOMAS, Hugh. (2018). *Basic Water Treatment (6th Edition) - 4.6 Aeration*. ICE Publishing. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011IEUI1/basic-water-treatment/aeration>
- [6] ZELENÝ, Zdeněk. *Úprava vody - sedimentace* [online]. VODOVOD.INFO. 2013 [cit. 2019-05-18]. ISSN 1804-7157. Dostupné z: <http://www.vodovod.info/index.php/tema/219-uprava-vody-sedimentace>
- [7] BIELA, Renata, Vodárenská flotace a její použití při úpravě pitné vody v ČR, článek v *TZB-info*, ISSN 1801-4399, TZB- info, Praha, 2012
- [8] ŠAŠEK, Jaroslav. Použití UV záření pro dezinfekci pitné vody. *Vytápění větrání instalace* [online]. Praha: Státní zdravotní ústav, 25.3.2013 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/9697-pouziti-uv-zareni-pro-dezinfekci-pitne-vody>
- [9] COUFAL, Marek. *Využití ozónu při úpravě vody* [online]. 3.1.2017, **2017**(01) [cit. 2019-05-19]. ISSN 1804-7157. Dostupné z: <http://www.vodovod.info/index.php/clanky/vodarenstvi/337-vyuziti-ozonu-pri-uprave-vody>
- [10] BIELA, Renata a Ilona ŠEVČÍKOVÁ. *Možnosti zpracování vodárenských kalů*, článek v *TZB-info*, ISSN 1801-4399, TZB-info, Praha, 2015
- [11] OŠLEJŠEK, Jiří. *Vodárenství II - Úpravny vody*. Návod do cvičení. Brno: VUT, 1978, 229 s.
- [12] BRATBY, John. *Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment*. 3rd ed. London: IWA Publishing, 2016. ISBN 9781780407494.
- [13] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška 448/2017 Sb.*, Praha: Ministerstvo zemědělství, ročník 2017, číslo 448.

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Kategorie upravitelnosti surové vody	5
Tab. 4.1 Rozdíl mezi americkým a evropským rychlofiltrem.....	28
Tab. 5.1 Sedimentační rychlosti suspendovaných látek.....	35
Tab. 5.2 Dimenzování potrubí usazovací nádrže	36
Tab. 5.3 Návrhové charakteristiky potrubí.....	37
Tab. 5.4 Dimenzování potrubí.....	38

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 4.1 Podélná obdélníková usazovací nádrž	16
Obr. 4.2 Kruhová usazovací nádrž s radiálním horizontálním průtokem	17
Obr. 4.3 Kruhová usazovací nádrž s vertikálním průtokem.....	18
Obr. 4.4 Čiřič s hydraulickým vznosem vločkového mraku.....	20
Obr. 4.5 Galeriový čiřič.....	20
Obr. 4.6 Čiřič Candy	21
Obr. 4.7 Čiřič Precipitátor	21
Obr. 4.8 Čiřič s kyvadlovým pádlem	22
Obr. 4.9 Čiřič Accelátor	22
Obr. 4.10 Čiřič Pulsátor.....	23
Obr. 4.11 Flotační jednotky na úpravě vody Mostiště	24
Obr. 4.12 Schéma typického uspořádání flotačního zařízení.....	25
Obr. 4.13 Otevřený pomalý filtr	27
Obr. 4.14 Schéma otevřeného evropského rychlofiltru s průtokem shora dolů	28
Obr. 4.15 Filtr protékaný zespod nahoru.....	29
Obr. 4.16 Filtr protékaný oboustranně	29
Obr. 5.1 Sedimentační křivka.....	35
Obr. 5.2 Schéma odtoku upravené vody z usazovací nádrže	36

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

pH ... záporný dekadický logaritmus hodnoty koncentrace vodíkových iontů v roztoku

Sb. ... sbírka

tab. ... tabulka

obr. ... obrázek

odst. ... odstavec

č. ... číslo

např. ... například

CHSK ... chemická spotřeba kyslíku

max. ... maximálně

ÚV. ... úpravna vody

DAF. ... dissolved air flotation

UV. ... ultra violet (ultrafialové)

atd. ... a tak dále

DN ... jmenovitá světlost potrubí

tzv. ... takzvaný

cca ... cirká (přibližně)

SEZNAM PŘÍLOH

1. Výkres usazovací nádrže M1:100
2. Evropský rychlofiltr řez A – A' M1:50
3. Evropský rychlofiltr pohled B – B' M1:50
4. Evropský rychlofiltr pohled C – C' M1:50
5. Technologické schéma úpravny vody

SUMMARY

The bachelor thesis deals mainly with two-stage water treatment. The first part of the thesis is a review of two-stage water treatment from a surface source. It describes the individual equipment used for water treatment gradually, from surface source to drinking water disinfection. There are also described possibilities of sludge treatment in sludge management.

The next part is the design of the main technological elements at the water treatment plant for the design flow $Q = 40$ l/s. The first separation stage is two rectangular settling tanks with horizontal flow and the second separation stage are three open european rapid filters. The thesis contains their hydrotechnical calculations.

Another part of the work is drawing documentation of the main technological elements, which is based on previous calculations. For the settling tank, this is a plan view, a longitudinal and a cross section, and for the rapid filter there are two plan views and a longitudinal section. Another part of the work is a drawing of a technological scheme, which describes the layout of individual devices in a designed water treatment plant, from a water source to a drain to a drinking water accumulation. At the end of the practical part is a technical report, that describes the proposed devices and other devices that are listed in the technological scheme.

The benefit of this work can be considered the research describing the possibilities of using technological elements with two-stage water treatment from the surface source. Another benefit is the practical part of the bachelor thesis, where the procedure of calculation of the two main technological elements is indicated, which is then used for drawing up their drawing documentation.